

ESTUDO LABORATORIAL DO COMPORTAMENTO DO TÔMBOLO DE UM QUEBRAMAR DESTACADO COM ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE AREIAS

João Pedro Remelhe Queirós dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2014/2015 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família em especial aos meus pais, aos quais um agradecimento não é suficiente por tudo aquilo que fizeram por mim, por todo o apoio nesta etapa e pela oportunidade de ingressar na faculdade.

À Sara Pimenta, pelo apoio incondicional, por ter estado sempre disponível para me ajudar, pelas palavras de motivação e pela ajuda na elaboração de algumas ilustrações.

A todos os meus amigos, e amigos que formei durante o meu percurso académico, um obrigado por todos os momentos durante o meu percurso académico.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Veloso Gomes, pela transmissão do seu vasto conhecimento científico e prático, pelo apoio, pelos conselhos e críticas construtivas, e pelo interesse demonstrado durante todas as etapas da elaboração da dissertação.

À Crina Stefania e ao Sr. Miguel por todo o apoio, pela disponibilidade e bom ambiente e pelas ideias sugeridas durante os trabalhos laboratoriais, que contribuíram para que o trabalho realizado obtivesse bons resultados.

À Paula Pinto e Esmeralda Miguel do IHRH, pela simpatia, por estarem sempre disponíveis e pela ajuda na formatação e revisão do trabalho.

A componente laboratorial deste trabalho insere-se no Projeto de Investigação GEOPROTEC.

RESUMO

Devido à extensão da costa portuguesa, aliada aos graves problemas de erosão costeira e à atual conjuntura económica do país, é essencial o estudo de alternativas para proteger a costa portuguesa, que contribui significativamente para a evolução económica do país. A confiança da previsão das alterações morfológicas na costa na presença de estruturas de proteção costeira torna-se assim essencial para reduzir os riscos de investimento em soluções de proteção da costa.

Como os quebramares destacados são pouco utilizados em Portugal, fez-se um estudo com base nos métodos empíricos, para as condições médias de agitação, ondas e marés, características da costa oeste de Portugal.

Para este estudo foram utilizados quebramares destacados emersos e submersos, de taludes ou em geossintético, combinados com diferentes tipos de alimentação artificial de areia, na qual se consideraram três hipóteses, sem alimentação artificial, com alimentação artificial de um saliente ou de um tómbolo. Prevvia-se a modelação de um recife artificial, mas mediante os resultados obtidos para outras estruturas esta hipótese foi abandonada por se considerar que não seria eficiente na proteção da costa. Nestes ensaios não foi considerado transporte longitudinal de sedimentos, o que levou à conclusão de que com baixos fluxos de sedimentos ou na ausência de sedimentos, a influência da estrutura na morfologia da costa será reduzida ou nula, não se formando saliente/tómbolos.

Com este estudo concluiu-se que os quebramares destacados emersos constituem uma alternativa viável aos tradicionais esporões, embora seja uma solução mais cara, com um dimensionamento adequado, proporcionará uma área e perímetro de praia emersa superior. As estruturas submersas poderão ser uma boa solução complementar para campos de esporões que tenham dificuldade em manter areia na praia devido ao transporte transversal.

PALAVRAS-CHAVE: Tómbolo, Quebramar destacado, Alimentação artificial

ABSTRACT

Due to the extension of the Portuguese coast, combined with the severe coastal erosion problems and the actual economical conjuncture of the country, the study of alternatives to protect the Portuguese coast it's a necessity since it contributes significantly to the economical growth of the country.

Since the detached breakwaters aren't frequently used in Portugal, it was done a study based on empirical methods applied to the medium conditions of wave energy and tides that the Portuguese coast features.

In this study, it was used emergent and submerged detached breakwaters, with rubble mound armour and with geotextile, combined with artificial nourishment. Where three hypothesis were considered, one without artificial nourishment and the other two with artificial nourishment of a salient or a tombolo. It was considered the use of an artificial reef, but after the results obtained for other structures this hypothesis was abandoned, because it was considered that wouldn't be effective protecting the coast. During the tests it wasn't considered longitudinal transport of sediments, which led to the conclusion that low transport rate of sediments or the absence of sediments reduces the influence of the structures on the morphology of the coast, not allowing the formation of a salient or a tombolo.

This study led to the conclusions that the emergent breakwaters are a viable alternative to groins, although it's a more expensive solution, with the proper design, it will create a beach with a bigger area and perimeter. The submerged structures might be adequate as a complementary solution to groin fields that can't keep sand in their beaches due to cross-shore sediment transport.

KEYWORDS: Tombolo, detached breakwater, artificial nourishment

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABELAS	XII
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIV
LETRAS LATINAS MAIÚSCULAS	XIV
LETRAS LATINAS MINÚSCULAS	XV
LETRAS GREGAS.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. QUEBRAMARES DESTACADOS	3
2.1.1. ENQUADRAMENTO	3
2.1.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL	3
2.1.3. QUEBRAMARES DESTACADOS EMERSOS.....	5
2.1.3.1 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	5
2.1.3.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	8
2.1.4. QUEBRAMARES DESTACADOS SUBMERSOS	13
2.1.4.1 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	13
2.1.4.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	15
2.1.5. PREVISÃO DA MORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA EM EQUILÍBRIO ESTÁTICO.....	16
2.2. ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL.....	20
2.2.1. ENQUADRAMENTO	20
2.2.1. OBJETIVOS DA ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL	21
2.2.2. PERFIS TIPO E CÁLCULO DE VOLUMES DE AREIA.....	22
2.3. SOLUÇÕES MISTAS DE QUEBRAMARES DESTACADOS COM ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL ..	25
2.4. EXEMPLOS DE TÔMBOLOS NATURAIS E QUEBRAMARES DESTACADOS.....	26
2.4.1. EXEMPLOS DE ESTRUTURAS NATURAIS QUE LEVARAM À FORMAÇÃO DE TÔMBOLOS.....	26
2.4.2. EXEMPLOS DE QUEBRAMARES DESTACADOS EM PORTUGAL	28

2.4.2.1 QUEBRAMAR DESTACADO DE CASTELO DE NEIVA	29
2.4.2.2. QUEBRAMAR DESTACADO DE VILA DO CONDE.....	30
2.4.2.3. QUEBRAMAR SUBMERSO DO PORTO DE LEIXÕES.....	32
2.4.2.4. QUEBRAMAR DESTACADO DA FOZ DO DOURO.....	32
2.4.2.5. QUEBRAMAR DESTACADO DA AGUDA.....	34
3. TRABALHO LABORATORIAL.....	37
3.1 ENQUADRAMENTO	37
3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	37
3.2.1 TANQUE DE ONDAS.....	37
3.2.2 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ONDAS.....	38
3.2.3 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	39
3.2.4 EQUIPAMENTOS DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM	40
3.3 PLANO DE ENSAIOS.....	41
3.3.1 ENQUADRAMENTO.....	41
3.3.2 COMBINAÇÕES POSSÍVEIS.....	41
3.3.3 PLANO DE ENSAIOS	43
3.4 DIMENSIONAMENTO DO MODELO FÍSICO 3D COM FUNDOS MÓVEIS.....	44
3.4.1 CASO DE ESTUDO.....	44
3.4.2 DEFINIÇÃO DAS ESCALAS.....	45
3.4.3 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL E HIDRÁULICO DOS MODELOS.....	48
3.4.3.1 QUEBRAMAR DESTACADO EMERSO (SÉRIE I)	48
3.4.3.2 QUEBRAMAR DESTACADO SUBMERSO (SÉRIE II)	53
3.4.3.3 RECIFE ARTIFICIAL EM GEOSSINTÉTICOS.....	54
3.5 RESULTADOS	55
3.5.1 SÉRIE I – SAA	55
3.5.2 SÉRIE I – AAS	59
3.5.3 SÉRIE I – AAT	63
3.5.4 SÉRIE I COM SUPERESTRUTURA – AAT	66
3.5.5 SÉRIE II – AAS	70
3.5.6 SÉRIE II – AAT	71
3.5.7 SÉRIE III - AAS	73
3.5.8 SÉRIE IV - AAT	75
4. CONCLUSÕES	79

4.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS E PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	79
4.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	80
BIBLIOGRAFIA	81
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de um saliente e tómbolo	4
Figura 2 – Perfil transversal tipo de um quebramar de taludes (Chasten <i>et al.</i> , 1993)	5
Figura 3 – Variáveis do dimensionamento hidráulico de quebramares destacados	6
Figura 4 – Valores característicos da porosidade para as diversas secções tipo, Van der Meer (1988), U.S. Army Corps of Engineers (2006).....	11
Figura 5 – Fator de redução da dimensão dos blocos, Van der Meer 1991, retirado de Chasten <i>et al.</i> (1993)	12
Figura 6 – Curva de dimensionamento para quebramares submersos, Pilarczyk, 2003, (Taveira Pinto, 2007)	15
Figura 7 – Esquema das diferentes regiões geradas por um quebramar destacado (Taveira Pinto, 2007), imagem retirada de Pereira (2008).	16
Figura 8 – Relação da expressão de Black and Andrews (2001), adaptada de Pilarczyk (2003)	17
Figura 9 – Ábaco composto por González e Medina (2001), (Taveira Pinto, 2007).....	18
Figura 10 – Exemplo da definição de uma saliência, (Taveira Pinto, 2007).....	18
Figura 11 – Exemplo da definição de um tómbolo, (Taveira Pinto, 2007)	19
Figura 12 – Tipos de perfis de equilíbrio propostos por Dean, 1991, adaptado de U.S. Army Corps of Engineers (2006)	23
Figura 13 – Praia da Arda em 2003 e 2013	26
Figura 14 – Vista aérea da praia da Amorosa em 2003, agosto de 2006, outubro de 2006, março de 2010, agosto de 2010 e em 2013.....	27
Figura 15 – Vista aérea da praia da Gafa, Mindelo, em 2003 e em 2013.....	27
Figura 16 – Vista aérea do Baleal no início do século XX, fotografia retirada de [1], e em 2013	28
Figura 17 – Evolução do tómbolo do quebramar destacado de Castelo de Neiva (2003, 2006, 2010 e 2013).....	29
Figura 18 – Vista a partir da praia para o quebramar destacado de Castelo de Neiva	29
Figura 19 – Quebramar destacado de Vila do Conde e o respetivo tómbolo formado.....	30
Figura 20 – Vista aérea do quebramar destacado de Vila do Conde em 2003 e 2013.....	31
Figura 21 – Alterações na morfologia da restinga da Foz do Douro entre 2003 e 2004	33
Figura 22 – Alterações da restinga da Foz do Douro após a construção do quebramar destacado (1ª linha corresponde a imagens aéreas em 2006, 2007 e 2009, e na 2ª linha as imagens são dos anos 2010, 2012 e 2013).....	33
Figura 23 – Vista aérea do quebramar destacado da Aguda (1ª linha corresponde às imagens para os anos 2003, 2004, 2006 e 2007, e na 2ª linha corresponde às imagens para os anos 2009, 2010, 2011 e 2013).....	35
Figura 24 – Fossa de erosão presente no tómbolo junto ao quebramar	35
Figura 25 – Esquema do tanque de ondas do LH, da SHRHA, da FEUP	38
Figura 26 – Sistema de geração de ondas	39
Figura 27 – Posicionamento das sondas no tanque	40
Figura 28 – Câmara de ação GoPro™ Hero 3+.....	41
Figura 29 – Câmara fotográfica Canon™ 1100D.....	41
Figura 30 – Perfil ativo da praia em protótipo definido por Silva (2010)	47
Figura 31 - Perfil ativo da praia em modelo definido por Silva (2010).....	47
Figura 32 – Esquema da implantação do quebramar no modelo da praia	51
Figura 33 – Esquema em planta da implantação do modelo relativo ao recife artificial.....	54
Figura 34 – Organograma dos ensaios realizados	55

Figura 35 – Sequência do ensaio nº 1 ($T_1=0$; $T_2=30\text{min}$; $T_3=1\text{h}$; $T_4=3\text{h}$).....	56
Figura 36 – PT1.....	57
Figura 37 – PT2.....	58
Figura 38 – Rugas de difração após a conclusão do ensaio	59
Figura 39 – Sequência do ensaio nº 2 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	60
Figura 40 – PT1.....	60
Figura 41 – PT2.....	61
Figura 42 – PT3.....	61
Figura 43 – Sequência do ensaio nº 3 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	62
Figura 44 – PT1.....	63
Figura 45 – PT2.....	63
Figura 46 – Sequência do ensaio nº 6 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	64
Figura 47 – PT1.....	65
Figura 48 – PT2.....	66
Figura 49 – Estrutura e tómbolo no final do ensaio (a linha representa o perfil inicial).....	66
Figura 50 – Perfil transversal da estrutura com superestrutura à cota +7.5m Z.H.	67
Figura 51 – Erosão devido à passagem de água nas juntas da superestrutura.....	67
Figura 52 – Sequência do ensaio nº 7 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	68
Figura 53 – Pormenor das erosões locais devido às juntas e devido ao deslocamento da superestrutura	68
Figura 54 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5.....	69
Figura 55 – Sequência do ensaio nº 4 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.5\text{h}$; $T_3=1\text{h}$; $T_4=1.5\text{h}$).....	70
Figura 56 – Rugas a sotamar do quebramar no final de 1.5h de ensaio	71
Figura 57 – Perfil transversal no eixo de simetria após 35min de ensaio	72
Figura 58 – Sequência do ensaio nº 8 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	72
Figura 59 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5.....	73
Figura 60 – Secção transversal do quebramar destacado submerso em geossintético	74
Figura 61 – Sequência do ensaio nº 5 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	74
Figura 62 – Fossa de erosão provocada pelo enchimento indevido do tubo	76
Figura 63 – Perfil transversal no eixo de simetria do modelo no final do ensaio e marcas da evolução do perfil ao longo do ensaio.....	77
Figura 64 – Sequência do ensaio nº 9 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.25\text{h}$; $T_3=0.5\text{h}$; $T_4=1\text{h}$).....	77
Figura 65 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados singulares.....	7
Tabela 2 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados singulares.....	8
Tabela 3 – Valores de K_D para blocos de enrocamento SPM (1984), (Ramos, 2011)	9
Tabela 4 – Valores de S obtidos por Van der Meer (1988), citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006)	10
Tabela 5 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados submersos	14
Tabela 6 – Parâmetro A em função do diâmetro médio da areia, retirada de U.S. Army Corps of Engineers (2006)	23
Tabela 7 – Inclinação adequada para os taludes superior e inferior relativamente ao D_{50}	24
Tabela 8 – Características do quebramar destacado de Castelo de Neiva	30
Tabela 9 – Características do quebramar destacado de Vila do Conde	31
Tabela 10 – Características do quebramar submerso do porto de Leixões.....	32
Tabela 11 – Características do quebramar destacado da Foz do Douro	34
Tabela 12 – Características do quebramar destacado da Aguda.....	36
Tabela 13 – Combinações possíveis	42
Tabela 14 – Condições de agitação e nível de água, em protótipo, a utilizar em todos os ensaios	43
Tabela 15 – Variáveis consideradas no plano de ensaios	44
Tabela 16 – Tabela resumo das condições de agitação médias e das características do troço de praia	45
Tabela 17 – Grandezas físicas fixadas pelas propriedades do fluido e do material sedimentar no modelo com fundos móveis, (Silva, 2010)	45
Tabela 18 – Parâmetros de dimensionamento do modelo com fundos de areia ($D_{50} = 0.27$ mm) em função das escalas geométricas, adaptado de Silva (2010).....	46
Tabela 19 – Dimensionamento do quebramar destacado emerso em blocos de betão de alta densidade ($H=6.24$ m; $T=20$ s).....	48
Tabela 20 – Verificação do dimensionamento hidráulico	49
Tabela 21 – Características estruturais do quebramar emerso utilizado no modelo	50
Tabela 22 – Dimensionamento hidráulico segundo Pilarczyk (2003).....	50
Tabela 23 – Dimensões em planta do quebramar destacado emerso para o nível de água à cota 0m ZH.....	51
Tabela 24 – Dimensões previstas para o tómbolo	52
Tabela 25 – Características estruturais do quebramar submerso utilizado no modelo.....	53
Tabela 26 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo.....	64
Tabela 27 – Dimensões do tómbolo reproduzido em modelo no final do ensaio.....	65
Tabela 28 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo.....	67
Tabela 29 – Dimensões finais do tómbolo reproduzido em modelo	69
Tabela 30 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido no modelo.....	71
Tabela 31 – Dimensões finais do saliente resultante no final do ensaio.....	72
Tabela 32 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo.....	75
Tabela 33 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo.....	77
Tabela 34 – Tabela resumo das conclusões retiradas para as diversas estruturas ensaiadas	80

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

AAS – Alimentação artificial de um saliente

AAT – Alimentação artificial de um tômbolo

SAA – Sem alimentação artificial

DEC – Departamento de Engenharia Civil

GENESIS – Generalized Model for Simulating Shoreline Change

JMC – Japanese Ministry of Construction

JONSWAP – Joint North Sea Wave Project

LH – Laboratório de Hidráulica

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

PMAV – Preia-Mar de Águas Vivas

PT – Perfil Transversal

SHRHA – Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

SPM – Shore Protection Manual

ZH – Zero hidrográfico

LISTA DE SÍMBOLOS

LETRAS LATINAS MAIÚSCULAS

A – Área plana de deposição de areia

A_A – Parâmetro de escala da areia na situação natural

A_N – Parâmetro de escala da areia utilizada na alimentação

A_w – Parâmetro relacionado com w

C – Largura do coroamento da estrutura

B – Metade do comprimento do quebramar destacado

B_k – Metade da largura do tómbolo junto ao quebramar

B_w – Largura de praia seca

B_1 – Distância desde o eixo de simetria da estrutura até ao ponto P_0

D_{50} – Diâmetro médio da areia

D_{n50} – Dimensão média dos blocos

D_c – Profundidade de fecho

H – Altura de onda de projeto

H_i – Altura de onda incidente

$H_{máx}$ – Altura de onda máxima

H_{012} – Altura de onda excedida 12 horas por ano

H_s – Altura de onda significativa

K_D – Coeficiente de estabilidade dos blocos

K_T – Coeficiente de transmissão

L – Comprimento de onda

L_g – Distância entre quebramares destacados

L_{om} – Comprimento de onda em grandes profundidades

L_{012} – Comprimento de onda associado a H_{012}

L_s – Comprimento do quebramar destacado

N_{od} – Número de blocos deslocados numa faixa com uma largura igual a D_{n50}

N_w – Escala para o peso

N_x – Escala das dimensões em planta

N_z – Número de ondas

N_z – Escala da dimensão vertical

P – Porosidade da estrutura

P_0 – Ponto a partir do qual não há influência da estrutura na linha de costa

R_C – Altura de água acima do quebramar em PMAV

R_o – Distância entre a extremidade do quebramar e o ponto P_0

R_p – Fator de redução do diâmetro médio dos blocos

R_p^* – Parâmetro adimensional da altura livre acima do quebramar em PMAV

S – Nível de estragos na estrutura

S_{op} – Declividade da onda em grandes profundidades

T_p – Período de pico

W – Peso dos blocos

W^* – Distância desde a costa até ao local onde se atinge a profundidade de fecho

X – Distância do quebramar destacado à linha de costa

X' – Distância desde o quebramar destacado até à extremidade da saliência teórica

Y – Distância do quebramar destacado à linha de costa em equilíbrio

Y' – Distância do quebramar destacado à extremidade real da saliência

Y_0 – Largura teórica do saliente

LETRAS LATINAS MINÚSCULAS

d – Profundidade

h – Altura da praia

h_B – Altura da berma em relação ao nível médio do mar

r – Espessura do manto exposto

r_{int} – Espessura do manto intermédio

s – Densidade relativa dos sedimentos

w – Velocidade de sedimentação da areia

y – Distância a partir da praia inicial para offshore

LETRAS GREGAS

α_{min} – Ângulo formado entre R_o e Y

β_r – Constante definida por Hsu e Evans com base em praias espanholas

γ – Peso volúmico dos blocos

γ_w – Peso volúmico da água

Δ – Densidade relativa dos blocos

Δx_p – Dimensão longitudinal da praia em modelo

Δz_m – Dimensão vertical da praia em modelo

ν – Viscosidade cinemática do fluido

ξ – Parâmetro de Battjes

ξ_m – Número de Iribarren

ξ_{mc} – Número de Iribarren crítico

θ – Ângulo do talude do quebramar destacado

ρ – Massa volúmica da água

ρ' – Densidade relativa de massa submersa

ρ_b – Massa volúmica do enrocamento

ρ_s – Massa volúmica da areia

1

INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação consistiu no estudo das alterações morfológicas da linha de costa na presença de uma estrutura destacada através da modelação física.

Neste capítulo definir-se-ão os objetivos do trabalho e a estrutura do conteúdo do mesmo.

Estas estruturas surgem como alternativa ou complemento às estruturas frequentemente utilizadas em Portugal, os esporões, embora tenha mais potencialidades já que pode desempenhar mais funções do que os esporões. As estruturas destacadas possibilitam a acreção a sotamar da estrutura, na área abrigada em relação à agitação, podendo originar uma significativa área de praia emersa, permitindo a proteção dessa zona da agitação marítima com a estrutura e o areal. Também melhora as condições balneares, já que o areal que poderá ser produzido pela estrutura aumenta a área e o perímetro da praia. Apesar das diversas potencialidades destas estruturas, não são muito utilizadas em ambientes costeiros muito energéticos (como o caso de Portugal) devido aos desafios técnicos e custos relacionados com a sua construção e manutenção.

O dimensionamento de estruturas destacadas envolve um elevado grau de incerteza, dado que os métodos que servem de base ao seu dimensionamento e de previsão da evolução da morfologia da costa têm uma base empírica. Muitos desses métodos foram propostos com base em casos reais. Com a aplicação destes métodos são obtidos resultados díspares e por vezes contraditórios.

Os objetivos propostos para o desenvolvimento desta dissertação foram:

- Pré-dimensionar soluções de estruturas destacadas e reproduzir essas soluções no LH da FEUP considerando o modelo desenvolvido por Silva (2010);
- Análise da evolução do comportamento da praia, através de perfis transversais;
- Observação das alterações longitudinais na morfologia da praia;
- Interpretar e comparar os resultados entre soluções estruturais.

Este trabalho, com uma componente experimental, possibilita também uma aplicação na modelação física em tanque de ondas e inerente familiarização com equipamentos de geração de ondas e aquisição de dados, escalas laboratoriais, potencialidades e limitações das simulações.

Este trabalho foi dividido em quatro capítulos, em que o primeiro e último são a introdução e conclusões. O segundo capítulo constitui o estado da arte, onde se apresenta um resumo dos métodos de dimensionamento hidráulico e estrutural de estruturas destacadas, emersas e submersas e onde são apresentados métodos para o cálculo de volumes para a execução de projetos de alimentação artificial

com areia. Ainda neste capítulo, encontram-se exemplos de estruturas naturais que deram origem a tómbolos e exemplos de estruturas destacadas em Portugal.

O terceiro capítulo incide sobre todo o trabalho laboratorial, onde se faz uma breve descrição dos equipamentos e do LH e onde é apresentado o caso de estudo e modelo utilizado por Silva (2010). Neste capítulo apresenta-se uma tabela com várias combinações possíveis para um plano de ensaios, bem como o plano de ensaios que se pretendia realizar no laboratório. O dimensionamento hidráulico e estrutural das estruturas do plano de ensaios também é realizado neste capítulo, bem como a apresentação dos resultados obtidos na modelação física dessas estruturas.

No último capítulo apresenta-se uma síntese dos resultados, onde é feita uma comparação entre as soluções estruturais ensaiadas, bem como propostas para desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. QUEBRAMARES DESTACADOS

2.1.1. ENQUADRAMENTO

Este capítulo incidirá sobre um tipo de estruturas de defesa costeira, os quebramares destacados, em condições de agitação marítima semelhantes às da costa oeste portuguesa, cuja aplicação na mesma não é comum, mas que apresenta diversos potenciais e aspetos favoráveis comparativamente aos esporões.

Neste capítulo apresentar-se-ão métodos empíricos para o pré-dimensionamento estrutural e hidráulico de um quebramar destacado. Este tipo de estruturas são tipicamente de enrocamento, mas para quebramares com condições de agitação mais energéticas deverá ser necessário recorrer a blocos de betão.

Nos últimos anos os geossintéticos têm tido mais aplicações, e são tipicamente utilizados para obras aderentes, recifes artificiais e para estruturas de contenção de areia. O dimensionamento de estruturas deste tipo baseia-se na sua dimensão e peso. Empregar este tipo de materiais na construção de um quebramar destacado emerso seria muito difícil, devido às grandes dimensões dos tubos o que coloca desafios técnicos relacionados com o seu enchimento. O dimensionamento e características dos geossintéticos não serão abordados neste trabalho, caso se pretenda informações mais detalhadas sobre este assunto poder-se-á consultar a dissertação de das Neves (2003).

2.1.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL

Os quebramares destacados são barreiras paralelas à costa e não tem ligação à mesma. Podem ser emersos, galgáveis ou não galgáveis, ou submersos, à altura do nível de água ou inferior, na qual se inserem os recifes.

O objetivo primordial deste tipo de quebramares poderá ser aumentar a vida útil das praias. A sua conjugação com a alimentação artificial de areias uma boa solução mista para proteção costeira, que permita a prática de atividades de recreio e que constitua uma barreira de proteção das frentes urbanas contra a ação das ondas e inundações. Isto é possível, dado que as ondas que se propagam para a praia, sofrem uma redução de energia, devido a fenómenos de refração e difração que ocorrem nas extremidades do quebramar, o que reduz a capacidade da agitação levantar e remover sedimentos da praia. Para além de reduzir a energia das ondas que alcançam a costa, as ondas que são difratadas convergem, promovendo a acreção de sedimentos, caso exista uma fonte de sedimentos na vizinhança, na zona abrigada pelo quebramar. Provocam alterações morfológicas na linha de costa, levando à formação de salientes ou tómbolos, Figura 1.

Estas alterações podem ser previstas aquando do dimensionamento do quebramar como será apresentado nos capítulos seguintes.

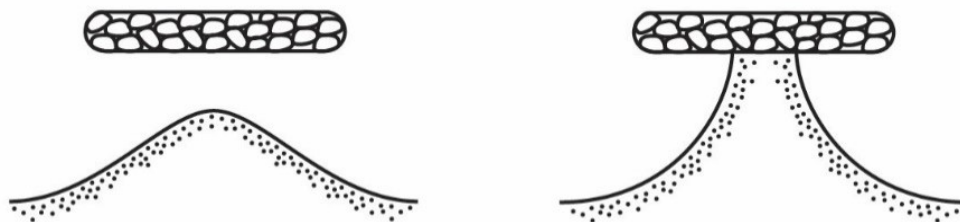


Figura 1 – Exemplo de um saliente e tómbolo

A formação de um saliente ou de um tómbolo terá, Figura 1, obviamente, consequências no transporte longitudinal de sedimentos. Caso ocorra a formação de um tómbolo este passará a ter um comportamento semelhante ao de um esporão, formando um tómbolo assimétrico, o que não será favorável visto que a construção de um quebramar acarreta custos de construção e manutenção consideravelmente superiores aos de um esporão. Porém, caso se tratem de diversos quebramares destacados, para proteger uma faixa da costa mais extensa, e se formem tómbolos, os quebramares situados nas extremidades funcionarão como esporões e os restantes funcionarão como quebramares destacados formando praias com uma morfologia semelhante à de uma parábola. A formação de um saliente numa estrutura é vista como a alteração morfológica de uma praia mais sustentável na parte respeitante ao transporte longitudinal de sedimentos. Como este transporte com a formação de um saliente não é reduzido de uma forma tão abrupta como no caso de um esporão ou numa situação em que se forme um tómbolo, o impacto nas praias a sotamar da estrutura será mais reduzido.

O grande potencial deste tipo de estruturas, nomeadamente de submersas, é o facto de poderem ser estruturas multifuncionais, podendo servir para proteção costeira, proteção portuária, contenção de areias, impedindo parte do transporte transversal e longitudinal de areias, potenciar a qualidade das ondas para a prática de desportos de ondas como *surf*, *bodyboard*, *longboard*, e também poderá servir de habitat artificial potenciando a colonização de várias espécies marinhas.

A secção transversal tipo que será considerada neste estudo para os quebramares destacados quer emersos quer submersos, quer sejam constituídos por enrocamento ou por blocos de betão, será a secção representada na Figura 2. Neste estudo a análise estrutural não será analisada com detalhe porque os objetivos incidem sobre o comportamento hidromorfológico das praias na presença destas estruturas. Apenas se indicarão as expressões que serão utilizadas para o dimensionamento de uma estrutura que apresente estabilidade aquando dos ensaios em modelo reduzido.

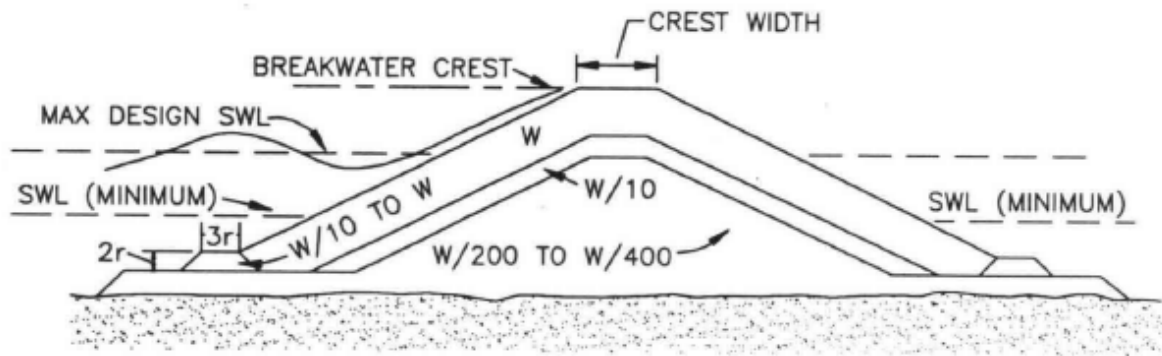


Figura 2 – Perfil transversal tipo de um quebramar de taludes (Chasten *et al.*, 1993)

2.1.3. QUEBRAMARES DESTACADOS EMERSOS

Os quebramares destacados emersos podem ser soluções muito eficazes na proteção costeira, e são, de entre as estruturas destacadas de proteção costeira, as que providenciam melhores condições para a acreção de sedimentos. A formação de um tómbolo num quebramar deste tipo é mais propícia. Estes quebramares podem ser galgáveis ou não galgáveis, sendo estes últimos apenas aplicáveis em entradas de portos para, através de fenómenos de difração, reduzir a altura de onda e melhorar assim as condições de navegação nas entradas dos portos. Estes quebramares aplicados para proteção costeira deverão ser galgáveis para que o seu impacto visual seja reduzido, caso contrário a cota do coroamento impossibilitaria a vista da praia para o horizonte. Estes quebramares podem ter duas ou três funcionalidades que são a proteção costeira e a função portuária. Caso a colonização de espécies seja significativa pode constituir um habitat natural para a colonização de algumas espécies.

O dimensionamento estrutural e hidráulico deste tipo de estruturas é feito a partir de métodos empíricos, que serão referidos nos seguintes capítulos, em que as estruturas resultantes terão de ser analisadas, ou em modelo reduzido ou em modelo numérico. Em termos estruturais estes quebramares podem ser quebramares verticais em betão e fundados em rocha, podendo ou não ter um talude na face exposta às ondas, ou podem ser quebramares de taludes em enrocamento ou em blocos de betão.

2.1.3.1 Dimensionamento hidráulico

Como já foi referido anteriormente, o dimensionamento do quebramar com o intuito de formar um tómbolo ou um saliente, baseia-se em expressões empíricas. Estas expressões são resultado de estudos de estruturas existentes ou estudos de modelo reduzido, e servem apenas para proceder ao pré-dimensionamento das dimensões e da localização da estrutura. A estrutura que advém deste pré-dimensionamento terá de ser analisada em testes de modelo reduzido, ou através de modelação numérica, e após os testes proceder aos devidos ajustes para que a estrutura obtenha o desempenho pretendido.

Como o cerne deste estudo não é sobre os métodos de dimensionamento de quebramares destacados, foi realizada uma síntese das expressões de dimensionamento deste tipo de estruturas, cujas expressões dos diversos autores foram obtidas através dos seguintes manuais e dissertações (Boloix, 2011; Herbich, 2000; Pereira, 2008; U.S Army Corps of Engineers, 2006). O coeficiente de transmissibilidade é referido no capítulo 2.1.4.1., e optou-se por referir este coeficiente neste capítulo dado que o seu efeito será mais significativo nas estruturas referentes aí inferidas.

O método formulado por Japanese Ministry of Construction (JMC) apesar de favorecer a formação de um tómbolo não será aqui considerado pois o objetivo será conjugar este tipo de estruturas com alimentação artificial, e segundo Chasten *et al.* (1993), JMC não considera a utilização de alimentação artificial de areias no seu modelo, sendo este um dos motivos para que este método não tenha sido aplicado no dimensionamento de vários quebramares nos Estados Unidos da América.

A partir das expressões empíricas, dos diversos autores citados na Tabela 1 para quebramares singulares e na Tabela 2 para quebramares múltiplos, é possível obter valores de referência, através de uma relação entre o comprimento do quebramar e a distância deste à costa, para as condições favoráveis de formação de um tómbolo, ou de um saliente ou para uma situação em que não há resposta morfológica da costa. Embora sejam expressões muito simples e também limitadas pelo facto de terem uma base empírica, é possível obter valores da ordem de grandeza. Estas expressões que serão apresentadas nas Tabelas 1 e 2 são provenientes de diversos autores, aceites pela comunidade científica e, cujas expressões foram utilizadas em estruturas reais. As respetivas variáveis estão representadas na Figura 3.

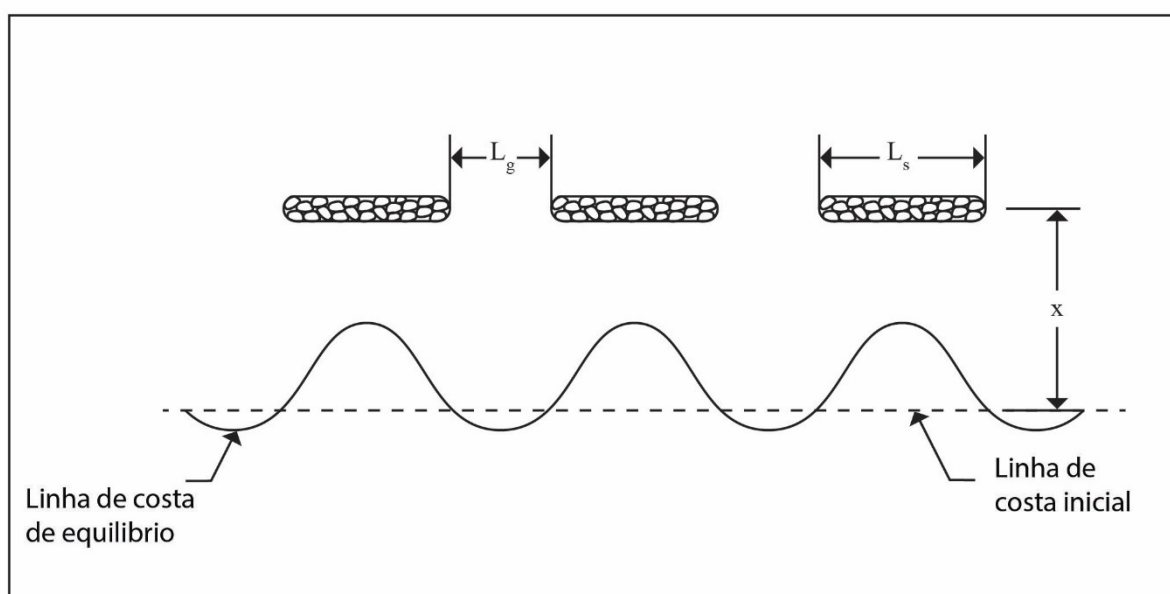


Figura 3 – Variáveis do dimensionamento hidráulico de quebramares destacados

Tabela 1 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados singulares

Autor	Condições para a formação de um tómbolo	Condições para a formação de um saliente	Condições para alterações mínimas na linha de costa	Condições para a formação do duplo tómbolo
SPM (1984)	$\frac{L_s}{X} > 2$	$\frac{L_s}{X} < 1$	-	-
Gourlay (1981)	$0.67 < \frac{L_s}{X} < 1$ (em pequenas profundidades)	$0.4 < \frac{L_s}{X} < 0.5$	-	$\frac{L_s}{X} > 2$
Ahrens and Cox (1990)	$\frac{L_s}{X} > 2.5$ (Periódico)	$\frac{L_s}{X} \leq 1.5$ (saliente bem desenvolvido) $\frac{L_s}{X} \leq 0.8$ (saliente moderado)	$\frac{L_s}{X} \leq 0.27$	-
Dally and Pope (1986)	$1.5 < \frac{L_s}{X} < 2$	$0.5 \leq \frac{L_s}{X} \leq 0.67$	$\frac{L_s}{X} \leq 0.125$	-
Suh and Dalrymple (1987)	$\frac{L_s}{X} \geq 1$	$\frac{L_s}{X} < 1$	-	-
Inmam and Fautschy (1966)	-	-	$0.17 \leq \frac{L_s}{X} \leq 0.33$	-
Nir (1982)	-	-	$\frac{L_s}{X} \leq 0.5$	-
Noble (1978)	-	-	$\frac{L_s}{X} \leq 0.17$	-
Harris and Herbich (1986)	$1 < \frac{L_s}{X} < 1.5$	$0.5 < \frac{L_s}{X} < 1$	-	-
Ming and Chiew (2000)	$\frac{L_s}{X} \geq 1.25$	$\frac{L_s}{X} < 1.25$	-	-
Pilarczyc (2003)	$1 < \frac{L_s}{X(1 - K_T)} < 1.5$	$\frac{L_s}{X(1 - K_T)} < 1$	$\frac{L_s}{X(1 - K_T)} > 1.5$	-

Tabela 2 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados singulares

Autor	Condições para a formação de um tómbolo
Dally and Pope (1986)	$\frac{L_s}{X} > 1.5$
Harris and Herbich (1986)	$\frac{L_g * X}{L_s^2} > 0.5$
Suh and Dalrymple (1987)	$\frac{L_g * X}{L_s^2} \approx 0.5$

2.1.3.2 Dimensionamento estrutural

O dimensionamento deste tipo de quebramares tem sofrido ao longo dos anos sucessivos ajustes. Ainda hoje não se encontrou um método capaz de se adaptar a todas as condições de agitação, dos fundos e do tipo de materiais disponíveis. Assim sendo, vários autores encontraram formas de dimensionamento distintas, das quais se destacam o método de Hudson e o método de Van der Meer, dois métodos que serão utilizados neste trabalho e serão alvo de uma análise mais cuidada numa secção mais à frente.

A altura de onda a ser utilizada no dimensionamento dos quebramares destacados será a altura de onda limitada pela profundidade, visto que estas estruturas são construídas em zonas de baixa profundidade. O cálculo da altura de onda de projeto deverá ser efetuada para a situação de preia-mar, que conduz à situação de maior instabilidade estrutural do quebramar, porque permite que ondas de maior altura atinjam o quebramar. Admitindo fundos de pequena inclinação, a altura de onda de projeto corresponderá a:

$$H = H_{m\acute{a}x} = 0.78 * d \quad (1)$$

O método de Hudson foi formulado em 1958, e utiliza-se para determinar a massa dos blocos do manto resistente do quebramar, estabelecendo uma relação entre as forças provocadas pela agitação e o peso volumico dos materiais, a inclinação dos taludes e um coeficiente de estabilidade obtido experimentalmente.

O método foi obtido através da realização e análise de um conjunto de ensaios feitos em laboratório, considerando agitação regular, um manto permeável e a não existência de galgamentos.

Contudo, as condições reais a que a estrutura estará sujeita na realidade não serão essas, desde já pelo facto da agitação ser irregular, segundo pelo facto de ser difícil evitar a existência de galgamentos do quebramar. Não obstante esses factos, através da análise de obras realizadas anteriormente, esta aproximação tem gerado resultados bastante satisfatórios e é largamente utilizada a nível mundial.

Assim sendo, Hudson apresenta a seguinte fórmula:

$$W = \frac{\gamma * H^3}{K_D * \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot(\theta)} \quad (2)$$

O valor do coeficiente de estabilidade, K_D , pode ser determinado com base em resultados de ensaios experimentais efetuados com modelos reduzidos de quebramares, utilizando ondas regulares, para uma gama de alturas de onda e períodos, calculado para o regime de agitação que mais afete a condição de estabilidade do quebramar. Este valor visa a representação empírica das variáveis que interferem na estabilidade dos blocos, já que depende do tipo, forma e localização do bloco, rugosidade, angulosidade, encaixe, permeabilidade, número de camadas do manto resistente e é também função do grau de destruição (Lopes, 2005), citado por Pereira (2008). Os valores para K_D obtidos por SPM (1984) para blocos de enrocamento, citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006), encontram-se na tabela representada na Tabela 3. O valor de K_D normalmente utilizado para os blocos de “Antifer” é de 6.

Para se encontrar uma solução dever-se-á calcular os pesos para vários tipos blocos, e inclinações de talude, e a escolha final basear-se-á na acessibilidade a materiais no local, para o caso de enrocamento, ou simplesmente por questões logísticas.

Tabela 3 – Valores de K_D para blocos de enrocamento SPM (1984), (Ramos, 2011)

Tipo de blocos	Nº camadas	Secção Corrente		Cabeça		Talude (cot α)
		Dentro da zona de rebentação	Fora da zona de rebentação	Dentro da zona de rebentação	Fora da zona de rebentação	
Liso e arredondado	2	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 -3
Liso e arredondado	> 3	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5 -3
Áspero e irregular	1	–	2.9	–	2.3	1.5 -3

O método de Van der Meer, citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006), é utilizado para estruturas que se encontrem em locais onde a onda não seja limitada pela profundidade, e foi obtido através de ensaios em modelo reduzido, tratando-se assim de um método empírico e que surge com a necessidade de colmatar as limitações do método de Hudson. Porém, a partir deste método é possível retirar uma ordem de grandeza dos blocos necessários, e também se deverá ter em conta que os blocos dimensionados para ondas mergulhantes podem não ser muito conservativos, dado que não foram testados quebramares para esse tipo de condições. Mas como os quebramares permitem galgamentos a energia da onda é dissipada nos taludes e no coroamento esse dimensionamento poderá ser algo conservativo. Será sensato comparar os resultados obtidos neste dimensionamento com os resultados obtidos a partir da formulação de Van der Meer para estruturas submersas, referido no capítulo 2.1.4.2., onde se pode considerar que a estrutura está acima do nível de água.

Este método permite que haja permeabilidade no núcleo, considera agitação irregular invés da agitação regular considerada no método de Hudson, tem em conta a declividade da onda que incide no quebramar e os danos causados por essa tempestade no quebramar. Apesar de ter sido desenvolvido com o objetivo de colmatar algumas limitações do método de Hudson, nomeadamente as características das tempestades, desde o número de ondas ao tipo de rebentação, estes parâmetros são algo redundante e de difícil definição com precisão. E para além disso, algumas das expressões obtidas por Van der Meer apenas são utilizáveis para quebramares com uma inclinação do talude. Van der Meer compôs várias

fórmulas para os diferentes tipos de quebramares, quanto aos tipos de blocos e declividade da onda para o caso dos quebramares de enrocamento.

No caso dos quebramares de enrocamento foram definidas duas expressões para dois tipos de rebentação, mergulhante e oscilatório, cuja distinção do tipo de rebentação é feita através da comparação do número de Iribarren crítico, ξ_{mc} , com o número de Iribarren no local, ξ_m , que caso seja inferior corresponde à rebentação mergulhante e se for superior corresponde à rebentação oscilatória.

$$\xi_{mc} = (6.2 * P^{0.31} * (\tan \theta)^{0.5})^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (3)$$

$$\xi_m = S_m^{-0.5} \tan \theta \quad (4)$$

As formulações de Van der Meer para uma estrutura com um manto resistente com duas camadas de enrocamento, ou para ondas mergulhantes e oscilatórias são apresentadas nas equações (5) e (6), respetivamente.

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = 6.2 * S^{0.2} * P^{0.18} * N_z^{-0.1} * \xi_m^{-0.5}, \quad \xi_m < \xi_{mc} \quad (5)$$

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = S^{0.2} * P^{-0.13} * N_z^{-0.1} \cot \theta * \xi_m^P, \quad \xi_m > \xi_{mc} \quad (6)$$

em que $S_{op} = \frac{H_s}{L_{om}}$ e $\Delta = \frac{\rho_b}{\rho} - 1$.

Na Tabela 4 pode ver-se a gama de valores para os estragos admitidos, para a qual o nível de estragos admitidos numa estrutura para uma dada altura de onda, S. P é a porosidade da estrutura, na qual Van der Meer considera que varia entre 0.1 a 0.6 de acordo com as combinações de camadas da estrutura, como se pode ver na Figura 4, e N_z é o número de ondas da tempestade, cujo limite superior é 7500.

Tabela 4 – Valores de S obtidos por Van der Meer (1988), citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006)

Inclinação do talude	Danos iniciais	Danos intermédios	Ruina da estrutura
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4 – 1:6	3	8-12	17

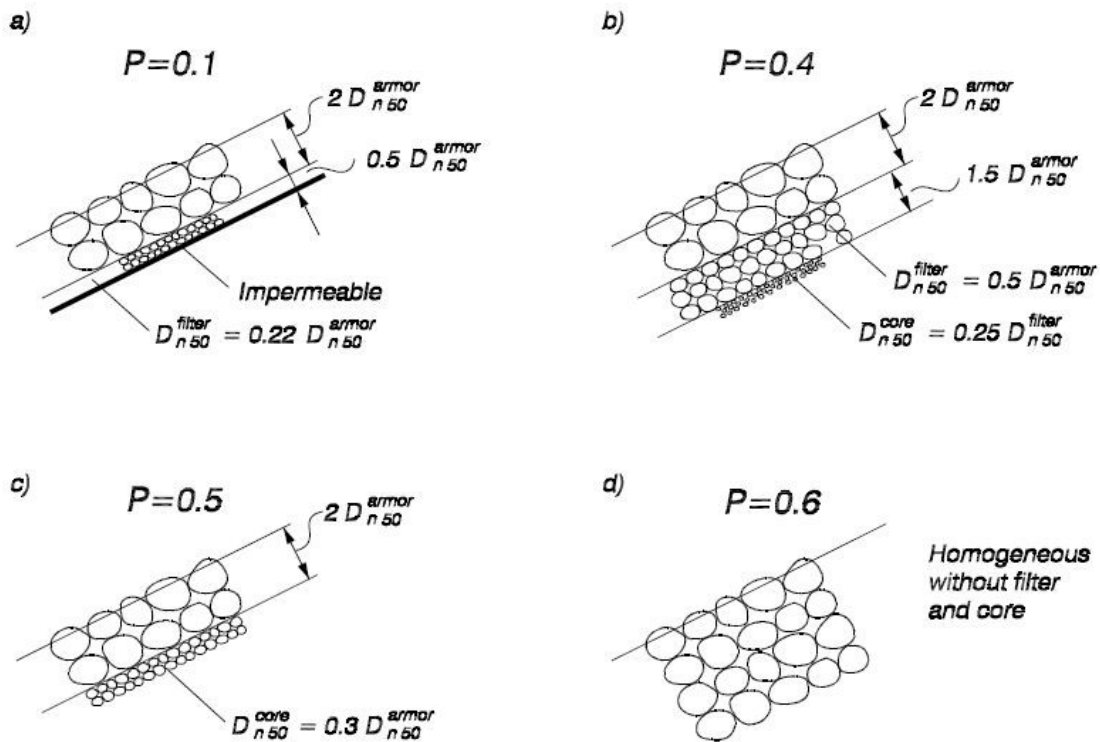


Figura 4 – Valores característicos da porosidade para as diversas secções tipo, Van der Meer (1988), U.S. Army Corps of Engineers (2006)

Para o caso em que o quebramar destacado emerso é galgável, os métodos, tanto o de Hudson como o de Van der Meer são apropriados para o seu dimensionamento necessitando apenas de ser aplicado um fator corretivo às dimensões dos blocos. Os quebramares destacados emersos ao permitirem galgamentos possibilitam que a energia se dissipe nos taludes a barlar e sotamar e no coroamento da estrutura aumentando assim a estabilidade dos blocos do manto resistente, e que consequentemente resulta no dimensionamento de blocos de menores dimensões/peso. Portanto, Van der Meer (2003) citado em Pereira (2008), definiu que o fator de redução dos diâmetros médios dos blocos, R_p , equação (8), requererá o cálculo de um parâmetro adimensional, R_p^* , da altura livre acima do nível de preia-mar, através da equação (7). A equação (8) apenas é válida para o intervalo $0 \leq R_p^* \leq 0.52$, e está limitada a valores entre 0.8 e 1, dependendo da declividade da onda, como se pode verificar na Figura 5.

$$R_p^* = \frac{R_c}{H} * \sqrt{\frac{H}{g * T_p^2}} \quad (7)$$

$$R_p = \frac{1}{1.25 - 4.8R_p^*} \quad (8)$$

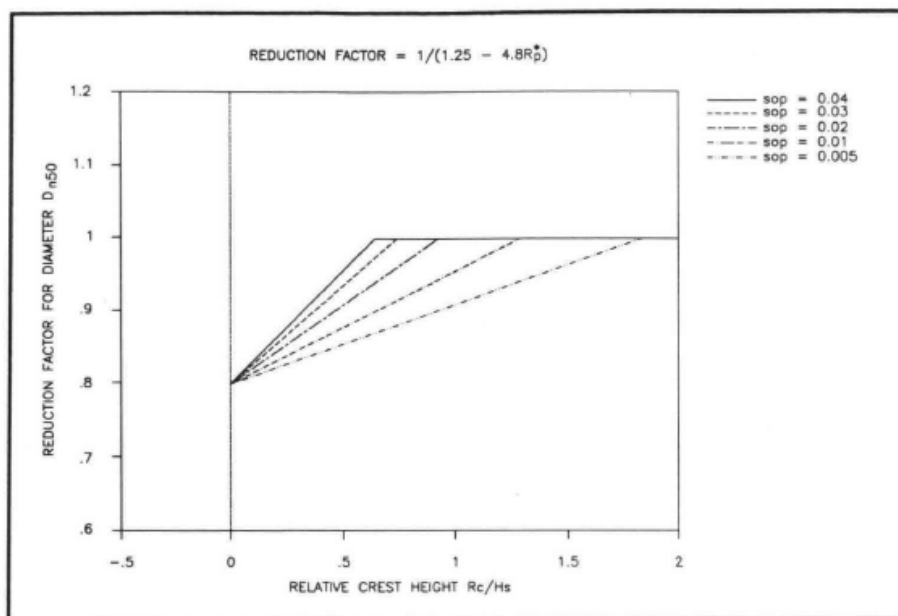


Figura 5 – Fator de redução da dimensão dos blocos, Van der Meer 1991, retirado de Chasten *et al.* (1993)

Para o caso de quebramares não galgáveis são necessários blocos de maior peso para dissiparem a energia das ondas incidentes no talude, e no caso da indisponibilidade de blocos de grandes dimensões de enrocamento, os blocos de betão constituem uma alternativa viável, quer estrutural, hidráulica e economicamente.

Para este tipo de solução Van der Meer (1988) formulou várias expressões atendendo aos diversos blocos que existem e que se pode verificar em U.S. Army Corps of Engineers (2006). Neste estudo apenas se referirá o dimensionamento de cubos “Antifer”, através da expressão (9), cuja validade implica que a estrutura esteja localizada em profundidades que não limitem a altura de onda, que o talude tenha uma inclinação de 1:1.5 e o parâmetro de Iribarren deverá estar no intervalo $3 < \xi_m < 6$. De referir que para o caso em estudo esta expressão não verificará os parâmetros necessários para validar a expressão mas poderá fornecer uma ordem de grandeza, requerendo uma comparação com outros métodos.

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = \left(6.7 * \frac{N_{od}^{0.4}}{N_z^{0.3}} + 0.1 \right) S_{om}^{-0.1} \quad (9)$$

O parâmetro N_{od} considerado por Van der Meer é relativo à destruição da estrutura, em que o autor considera extremos, em que $N_{od}=2$ corresponde à destruição total da estrutura e $N_{od}=0$ corresponde a que a estrutura se mantenha inalterada. Poder-se-á considerar um valor intermédio para o dimensionamento mais económico, mas este valor deverá ser comparado com outros métodos para haver uma maior confiança no dimensionamento estrutural de uma estrutura deste tipo.

Para a secção da cabeça do quebramar, ou seja, para as duas extremidades do quebramar, é necessário majorar as dimensões médias dos blocos a colocar por se tratar da zona mais vulnerável do quebramar, isto porque ocorrem fenómenos de difração e refração nestes locais, dissipando-se muita energia, o que requer blocos de dimensões superiores para que mantenham a estabilidade do quebramar e permitam a dissipação da energia das ondas.

2.1.4. QUEBRAMARES DESTACADOS SUBMERSOS

Este tipo de estruturas tem um funcionamento semelhante aos quebramares destacados emersos, referidos em capítulos anteriores, relativamente às alterações morfológicas na linha de costa. Relativamente à dissipação de energia, estes quebramares funcionam como um filtro de ondas, em que as ondas de menores dimensões, ondas estas responsáveis pelo transporte de areia para a praia, responsáveis pela reconstrução da praia após tempestades, passam sobre o quebramar sem sofrer qualquer tipo de alteração. Enquanto as ondas de maior altura sofrem pré-rebentação, dissipando grande parte da sua energia, e consequentemente o seu potencial para levantar e remover a areia da praia.

Em locais com grande amplitude de marés o dimensionamento deste tipo de estruturas requer maior cuidado, isto porque caso a estrutura seja totalmente submersa na situação mais adversa para a costa, em preia-mar, a estrutura não terá um comportamento satisfatório já que as ondas não dissiparão tanta energia ao passarem sobre o quebramar. Para além do seu funcionamento pouco eficiente, este quebramar constitui um perigo para nadadores, surfistas e embarcações que circulem naquele local, já que não será facilmente visível. Portanto, para locais onde a amplitude de marés seja significativa, como em Portugal em que a maré é mesotidal e com amplitude máxima é de 4m, a estrutura não deverá ser totalmente submersa na situação de baixa-mar. Deverá ser dimensionada uma estrutura que fique ao nível de meia maré.

Nestes quebramares estão incluídos os recifes artificiais cujo funcionamento hidráulico é semelhante ao do quebramar destacado submerso. E este tipo de estruturas poderá ter várias funções como já foi referido anteriormente.

Neste capítulo será referido o dimensionamento dos quebramares destacados submersos e dos recifes artificiais. Para um maior entendimento do funcionamento de recifes artificiais, nomeadamente para o dimensionamento e a funcionalidade da prática de surf dever-se-á consultar as dissertações, FEUP de Laranjeira (2010) e de Alves (2011), respetivamente, em que foram analisadas em modelo reduzido, estruturas submersas em geossintéticos destinadas fundamentalmente para a vertente da prática de surf.

2.1.4.1 Dimensionamento hidráulico

Os quebramares destacados submersos têm um funcionamento semelhante aos quebramares destacados emersos, mas como estes permitem galgamentos para qualquer altura de onda, a área a barlar não estará tão abrigada, logo não será tão propícia para a acumulação de sedimentos como nos quebramares destacados emerso.

As relações apresentadas pelos autores, citados por Pereira (2008), na Tabela 5, encontram, do mesmo modo que nos quebramares destacados emersos, valores de referência na relação entre o comprimento do quebramar e a sua distância à costa. Um dos autores considera um coeficiente de transmissão, K_T , que corresponde ao fluxo de água que atravessa a estrutura e maioritariamente ao fluxo de água que corresponde aos galgamentos, que Pilarczyk (2003) considera que este valor está entre $0 \leq K_T \leq 1$, em que 0 corresponde a que não existam galgamentos e que a estrutura é impermeável, e 1 corresponde a que não exista um quebramar, ou pode significar que este está submerso e não interfere com as ondas. Este último caso, para um quebramar bem dimensionado, poderá ocorrer para ondas de pequena dimensão, que são benéficas para a estabilidade da praia, em que estas passam sobre o quebramar sem sofrer qualquer tipo de alteração.

Para a determinação do coeficiente de transmissão, Briganti *et al.* (2003), citado por Ramos (2011), considera que deve ser feita uma distinção entre estruturas com coroamento estreito e coroamento largo, e para tal aplicou correções às expressões de d'Angredmond *et al.* (1996), citado por Ramos (2011), originando assim as equações (10) e (11),

$$K_T = -0.4 \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \left(\frac{C}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}), \quad \frac{B}{H_i} < 10 \quad (10)$$

$$K_T = -0.35 \frac{R_c}{H_i} + 0.51 \left(\frac{C}{H_i} \right)^{-0.65} (1 - e^{-0.41\xi}), \quad \frac{B}{H_i} > 10 \quad (11)$$

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{S_{op}}} \quad (12)$$

onde R_c representa a submergência relativa do coroamento, e caso a estrutura se encontre submersa este parâmetro será negativo, C representa a largura do coroamento e ξ o parâmetro de Battjes, equação (12).

Porém, estas duas equações têm limitações. A equação (10) está limitada para valores do coeficiente de transmissão entre 0.07 e 0.8, e a equação (11) deverá resultar em valores superiores a 0.05 e valores inferiores aos valores resultantes da equação (13).

$$K_T = -0.006 \frac{B}{H_i} + 0.93 \quad (13)$$

Os métodos de Pilarczyk (2003) e Black e Andrews (2001), citados por Pereira (2008), são destinados a quebramares destacados submersos, e o método de Black e Mead (1997) e Andrews (1997), citados por Pereira (2008) são destinados a quebramares destacados submersos em recife, Tabela 5.

Tabela 5 – Fórmulas empíricas para o dimensionamento de quebramares destacados submersos

Autor	Limite para formação de um tómbolo	Limite para a formação de um saliente	Limite para a ausência de resposta da linha de costa
Pilarczyk (2003)	Não existe	$\frac{L_s}{X(1 - K_T)} \leq 1$	$\frac{L_s}{X(1 - K_T)} > 1$
Black e Andrews (2001)	Não existe	$\frac{L_s}{X} \leq 2$	$\frac{L_s}{X} > 2$
Black e Mead (1999) e Andrews (1997)	$\frac{L_s}{X} > 0.6$	$\frac{L_s}{X} < 2$	$\frac{L_s}{X} < 0.1$

2.1.4.2 Dimensionamento estrutural

O dimensionamento destas estruturas pelo método de Hudson será igual ao dimensionamento dos quebramares destacados emersos, com a ressalva de que esses blocos estarão sobredimensionados, visto que o método de Hudson foi formulado para quebramares não galgáveis, que necessitam de blocos de maiores dimensões para suportarem a energia que será dissipada no talude. Porém, Van der Meer formulou expressões para quebramares submersos e também para recifes artificiais. A diferença entre eles é a secção transversal destas estruturas, pelo facto de o recife artificial não ter um núcleo e ser uma estrutura homogénea de enrocamento ou em materiais geossintéticos.

Portanto, é necessário verificar qual das situações a mais instável, se no momento em que este está emerso e permite galgamentos ou quando se encontra totalmente submerso.

Para a situação em que o quebramar se encontra submerso, Van der Meer (1991) formulou uma expressão para o dimensionamento do diâmetro médio dos blocos para uma estrutura deste tipo, que será composta por duas camadas de enrocamento quer no coroamento quer nos taludes de intradorso e extradorso, expressão essa representada na equação (14), retirada de U.S. Army Corps of Engineers (2006), onde as variáveis são a declividade da onda para o período de pico, T_p , a altura de onda, a profundidade para o nível de água, h , a altura da estrutura, h_c' , e o nível de estragos na estrutura, S , a partir da qual Pilarczyk (2003), avaliou o valor de N_s^* em função de S e h_c'/h , obtendo a relação ilustrada na Figura 6, retirada de Pereira (2008). Obtendo os valores de N_s^* rapidamente se determina o diâmetro médio dos blocos a partir da equação (15).

$$N_s^* = -\left(\frac{1}{0.14}\right) \ln\left(\frac{h_c'}{h(2.1 + 0.1S)}\right) \quad (14)$$

$$N_s^* = \frac{H}{\Delta Dn50} S_{op}^{-\frac{1}{3}} \quad (15)$$

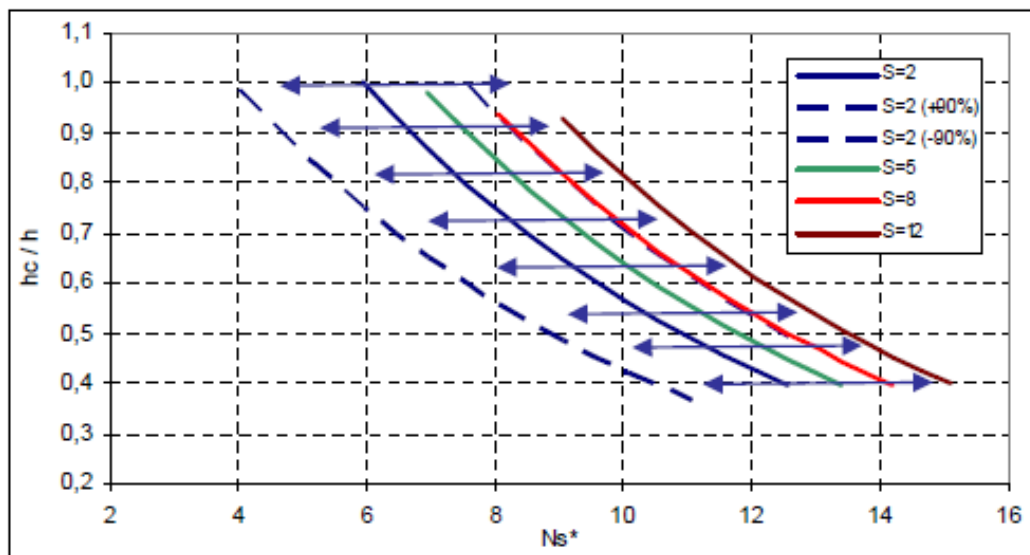


Figura 6 – Curva de dimensionamento para quebramares submersos, Pilarczyk, 2003, (Taveira Pinto, 2007)

2.1.5. PREVISÃO DA MORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA EM EQUILÍBRIO ESTÁTICO

Para as previsões de alteração de morfologia da costa podem ser utilizados modelos numéricos, como o modelo GENESIS, U.S. Army Corps of Engineers (2006). Neste caso utilizar-se-ão métodos semi-empíricos para a previsão da alteração da morfologia da costa. De todos os métodos encontrados é notável a ausência de métodos que incluam a altura do coroamento da estrutura, bem como a sua permeabilidade. E em todos os métodos que serão apresentados em seguida, nenhum prevê qual será a altura da praia num dado local.

No âmbito deste estudo será favorecido o dimensionamento de um quebramar destacado que leve à formação de um tômbolo. Sendo assim, será útil prever a morfologia deste tômbolo para prever a área que ficará emersa e a interação do quebramar e da linha de costa definida pelo tômbolo com a agitação incidente. A previsão de um saliente também poderá ser útil, pois antes da formação de um tômbolo formar-se-á um saliente que no momento que se conecta com o quebramar dará origem ao tômbolo. A previsão da morfologia da costa para uma situação de equilíbrio estático de um tômbolo permite mapear as regiões influenciadas pelo quebramar destacado, regiões essa representadas na Figura 7.

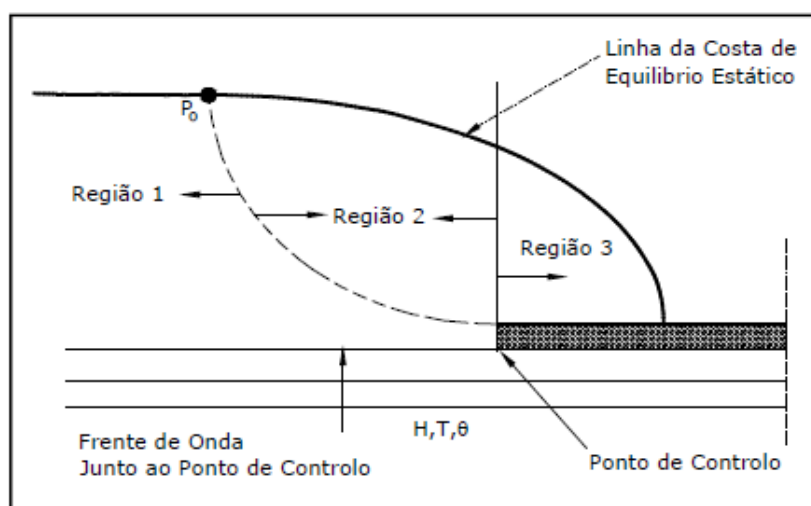


Figura 7 – Esquema das diferentes regiões geradas por um quebramar destacado (Taveira Pinto, 2007), imagem retirada de Pereira (2008).

Quando uma onda se propaga em direção a um quebramar, gerará três regiões distintas, em que na primeira não haverá qualquer alteração, na segunda as ondas são alteradas por fenômenos de refração, perdendo alguma energia, e na terceira região, a mais influente na perda de energia das ondas, ocorrem fenômenos de difração em que o quebramar impõe uma configuração, às ondas, próxima de arcos de uma circunferência.

A determinação da morfologia de um tômbolo/saliência é de extrema dificuldade através de métodos expeditos, isto porque estes métodos se baseiam em quebramares existentes e em ensaios de laboratório, cujas condições envolventes do quebramar destacado são peculiares, o que leva a aproximações quando aplicado em quebramares cujas condições de implantação são diferentes.

De acordo com os vários autores, a definição da morfologia do tômbolo/saliente, considerando que a propagação das ondas será paralela à linha de costa inicial e ao quebramar destacado, passará pela

determinação do limite de influência da estrutura na morfologia da praia, P_0 , do comprimento do saliente, da largura do tómbolo e a área plana de deposição de areia.

Para o caso de quebramares destacados emersos, Hsu e Silvester (1990), citado por Pilarczyk (2003), desenvolveu a expressão (16), que determina a distância entre o quebramar e a extremidade teórica da saliência, X' , que caso se forme um tómbolo deverá ser igual a 0.

$$\frac{X'}{L_s} = 0.68 \left(\frac{X}{L_s} \right)^{1.22} \quad (16)$$

Relativamente a quebramares destacados submersos e recifes, Black e Andrews (2001), citados por Pilarczyk (2003), desenvolveram uma expressão que inclui o efeito da transmissibilidade e que define a distância entre o quebramar e a extremidade da saliência, equação (17), cuja relação pode ser vista na Figura 8.

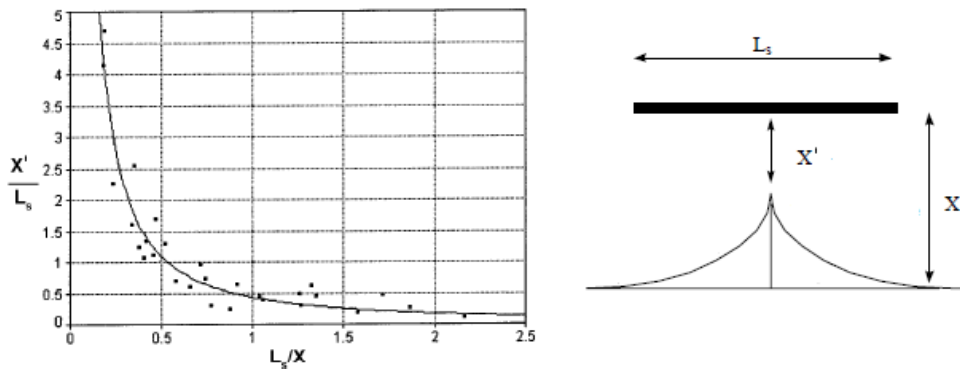


Figura 8 – Relação da expressão de Black and Andrews (2001), adaptada de Pilarczyk (2003)

$$\frac{X'}{L_s} = 0.5 \left(\frac{X}{L_s} \right)^{1.27} \quad (17)$$

Para se determinar P_0 , é necessário definir o parâmetro α_{min} , equação (18), desenvolvida por Hsu e Evans (1989), citado por Pereira (2008), onde L_{o12} corresponde ao comprimento de onda associado à altura de onda excedida 12 horas por ano, H_{o12} , de período T_{o12} , e na profundidade junto ao quebramar destacado em preia-mar, d . O restante parâmetro por definir, β_r , assume um valor de 2.13, valor obtido pelos autores através do estudo de dados reais de praias espanholas. Tendo este parâmetro definido a partir de Y , distância da linha de costa em equilíbrio à estrutura destacada, é possível determinar quer R_0 quer C .

$$\alpha_{min} = \arctan \left(\frac{\left(\frac{\beta_r^4}{16} + \frac{\beta_r^4}{2} \frac{Y}{L_{o12}} \right)^{\frac{1}{2}}}{\frac{Y}{L_{o12}}} \right) \quad (18)$$

Para a previsão da dimensão teórica do tómbolo/saliente em quebramares destacados emersos, González e Medina (2001), citado por Pereira (2008), elaboraram um ábaco, Figura 9, a partir do qual é possível estimar quer a largura do saliente, Figura 10, quer o comprimento do tómbolo, Figura 11, junto ao quebramar destacado. Estes autores consideram que o comprimento da estrutura é representado por $2B$, em que B será metade de L_s , a largura do tómbolo junto ao quebramar por $2B_k$, $2B_l$ representa a influência do quebramar na linha de costa, e Y_0 representa a largura teórica do saliente. Este método apenas fornecerá uma estimativa da dimensão do tómbolo/saliente que se poderá formar.

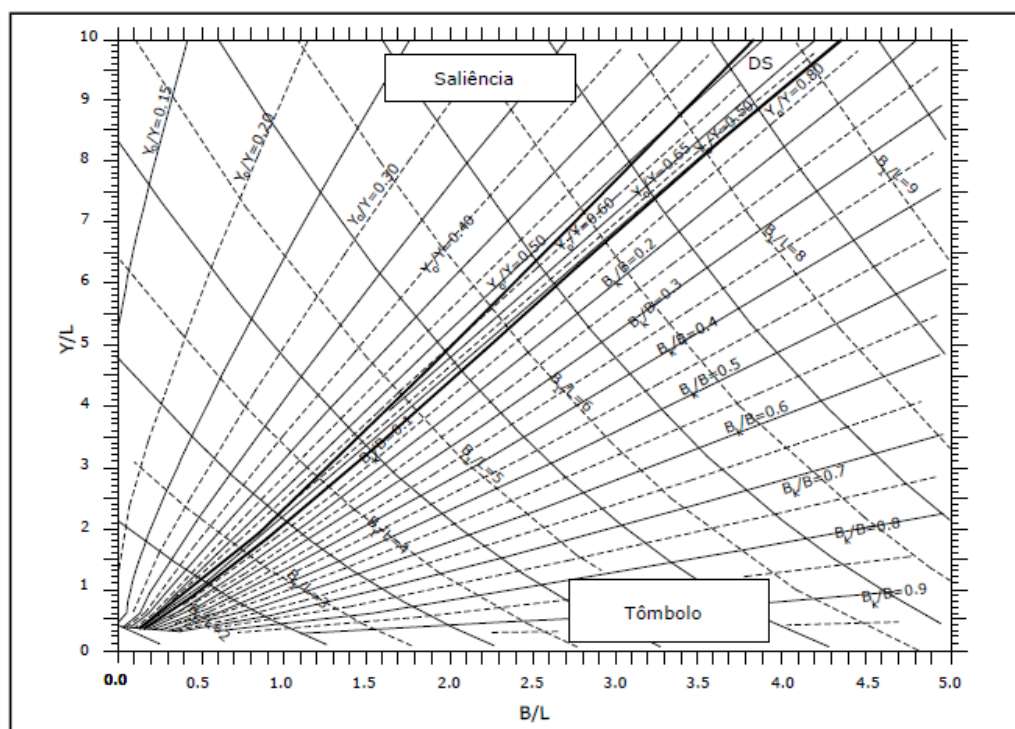


Figura 9 – Ábaco composto por González e Medina (2001), (Taveira Pinto, 2007)

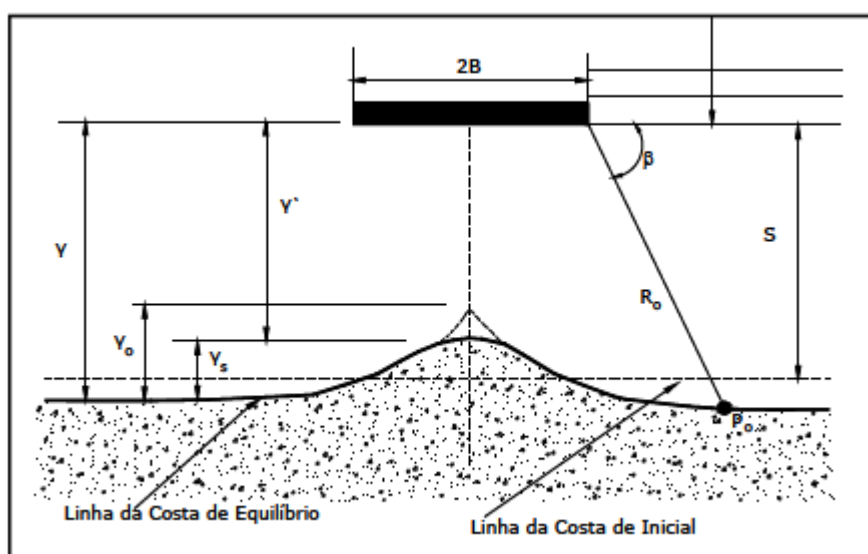


Figura 10 – Exemplo da definição de uma saliência, (Taveira Pinto, 2007)

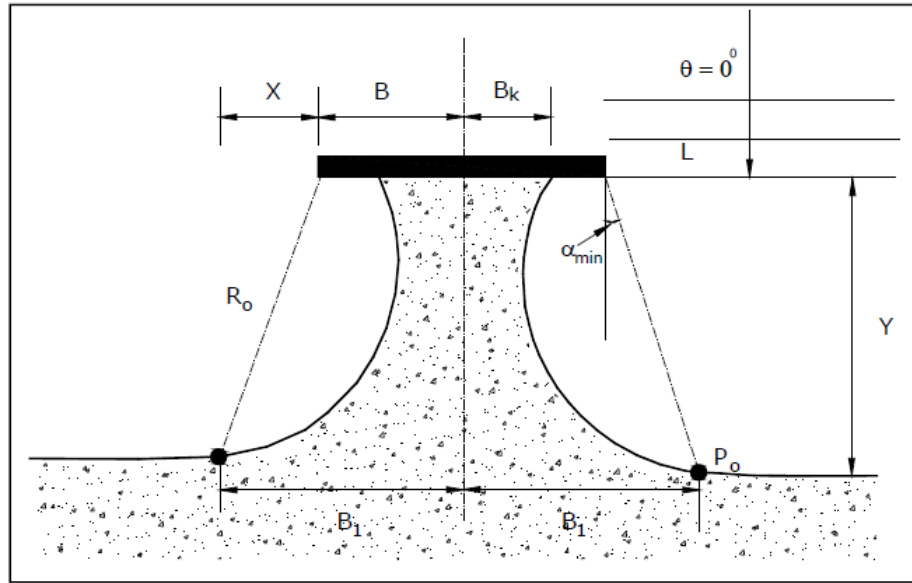


Figura 11 – Exemplo da definição de um tómbolo, (Taveira Pinto, 2007)

Como as saliências definidas através deste método são teóricas, ou seja, não apresentam uma morfologia que seja compatível com os fenómenos hidrodinâmicos presentes na linha de costa, então González e Medina (2001), equação (19) retirada de Pereira (2008), definem numa expressão semelhante à equação (16) de Hsu e Silvester (1990) na qual determinam a distância real a que o quebramar se encontra da extremidade real da saliência, Y' , a partir da qual se pode determinar a largura real, Y_s . Devido à limitação de dados para análise, a equação é apenas válida para $0.3 < B/L < 1.5$ e $2 < Y/L < 4$.

$$\frac{Y'}{L_s} = 0.5 \left(\frac{Y}{L_s} \right)^{\sqrt{2}} \quad (19)$$

Por fim, Ming e Chiew (2000), citado por Pilarczyk (2003), definiram uma expressão, equação (20), que permite estimar a área plana de deposição de areia, A , válida para quebramares destacados emersos, permitindo assim estimar o volume de areia que se poderá depositar nessa zona, assim como poderá constituir o volume de areia a colocar através de alimentação artificial para catalisar o processo da formação de um tómbolo.

$$\frac{A}{X^2} = -0.348 + 0.043 \frac{X}{L_s} + 0.711 \frac{L_s}{X} \quad (20)$$

2.2. ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL

2.2.1. ENQUADRAMENTO

As praias constituem uma barreira natural entre o mar e a terra. Com a fixação das frentes urbanas próximas das praias e com a redução dos caudais sólidos devido à construção sucessiva de aproveitamentos hidráulicos que retêm sedimentos na albufeira e reduzem a velocidade do rio, que reduz, consequentemente, a sua capacidade de transporte e a taxa erosão das margens, a capacidade natural de reconstrução da praia é fragilizada. Considerando o valor de defesa e recreativo das praias há uma necessidade de manter a estabilidade das praias, o que se torna um desafio quando a tendência natural de um dado local é que seja erodido.

Com esta necessidade de manter a estabilidade e a largura das praias não muito variável, e na eventualidade de a praia ser abruptamente erodida por uma tempestade, é necessário abastecer artificialmente a praia para repor o volume de areia perdido. Esta reposição não é uma solução permanente, e como tal é necessário definir a durabilidade do volume de areia que será colocado na praia, para que após esse período de vida útil se intervenha uma vez mais para repor esse volume de areia perdido. Este tipo de projetos são chamados de soluções de engenharia “leves”, pois são facilmente reversíveis, e como tal apresentam um risco elevado de investimento. Isto, porque esse volume de areia pode ser totalmente removido por uma tempestade invulgar, muito antes do período de vida útil dessa intervenção ter terminado. Portanto, é necessário, na fase de projeto de alimentação artificial de areias, definir a periodicidade das intervenções. O que pode gerar alguma controvérsia, dado que são intervenções muito dispendiosas, quer pela aquisição da areia quer pelas operações que exigem dragas. O que pode levar a uma tentativa de redução de custos através de metodologias que não envolvam processos tão morosos, poupando assim nos equipamentos utilizados, mas cuja eficiência diminui proporcionalmente com os custos.

Segundo F. Veloso-Gomes (Janeiro 2001), a alimentação artificial recorrendo a diversos equipamentos/soluções como:

- Descarga através da abertura dos porões (*direct dumping*) em zonas submersas, solução que é muito pouco eficiente e muito dependente das cotas do fundo e condições de agitação e marés para a sua utilização;
- Solução de repulsão para terra (*direct dumping by pipeline*) através de tubagens flutuantes, imersas ou uma combinação. Estas dragas também são denominadas por “dragas de sucção e arrasto”, e que necessitam de um poder de bombagem que permita o transporte de sedimentos do local de empréstimo para o porão e, após a aproximação da draga à praia, do porão para a praia. A extensão da repulsão pela tubagem, quer flutuante ou pousada no fundo marinho, se for muito elevada poderá levar à necessidade de instalar uma estação intermédia de bombagem, *booster*. Caso a draga permita aproximar-se a uma distância entre 25 a 100m da praia, poder-se-á utilizar o sistema de repulsão por jato;
- Soluções mistas, em que consiste na alimentação artificial de uma zona submersa da praia, e zona essa que posteriormente é utilizada como fonte de sedimentos para se efetuar uma bombagem desses sedimentos para o local pretendido;
- Transporte terrestre, solução que se torna bastante dispendiosa devido ao elevado volume necessário para um projeto de alimentação artificial de areias face à baixa capacidade de transporte de um camião.

Nos seguintes capítulos falar-se-á brevemente sobre os diversos tipos de funções e os seus objetivos, mas apenas se aprofundará mais sobre a alimentação artificial da extensão da praia, pois será este o tipo de alimentação que será utilizado nos ensaios de modelo reduzido.

2.2.1. OBJETIVOS DA ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL

O principal objetivo da alimentação artificial consiste na regeneração das zonas da praia com déficit de areia através da reposição desses volumes de areia, em que é definido um perfil adequado para atividades de lazer, e que tenha um bom desempenho nas funções de proteção da costa para que as praias dissipem a energia das ondas incidentes prevenindo a inundação e destruição das frentes urbanas. Estes perfis são definidos e incluem um volume excedentário e admite-se que esse volume será removido pouco depois da conclusão da alimentação artificial, dado que essa perda deriva do ajuste do perfil às condições de agitação do local.

Tipicamente, de acordo com U.S. Army Corps of Engineers (2006), a alimentação artificial consiste no alargamento da faixa de areal seco, que por sua vez se estende até à praia submersa para que se construa um perfil estável e que se adapte suavemente ao perfil que será imposto pela agitação incidente, ou seja, sem grandes movimentações de areia. Porém, há outros tipos de alimentação artificial tais como:

- Reabilitação do cordão dunar;
- Estabilização das dunas;
- Alimentação da praia adjacente, para que esta, através de transporte longitudinal, alimente a praia pretendida;
- Alimentação da barra de rebentação com proteção da própria praia.

A reabilitação do cordão dunar consiste na reconstrução em consequência de danos excessivos causados nas dunas por uma tempestade invulgar ou por uma sucessão de tempestades. Também poderá passar pela reconstrução de uma duna, onde outrora existiu uma, ou simplesmente construir uma duna como um método de proteção costeira visto que as dunas funcionam como uma estrutura aderente, sendo a última barreira entre as frentes urbanas e o mar. E também funcionam como uma reserva de sedimentos que vai alimentando a praia à medida que vai sendo erodida, aumentando assim a vida útil da praia, quer para atividades de recreio quer para proteção da costa. Caso as dunas apresentem alguma instabilidade devido a um inverno rigoroso, e haja falta de sedimentos, ou verbas para os adquirir, é possível recorrer a soluções de fortalecimento das dunas através de estacas e vegetação que promove a acreção e o consequente fortalecimento/estabilidade da mesma. Apesar de ser um processo moroso é uma solução perfeitamente admissível, embora incorra maiores riscos devido à reduzida eficácia, e que causa menos impactos negativos na fauna e flora.

A alimentação de uma praia adjacente, com vista a alimentar as praias a sotamar é feita em praias que funcionam como fonte de sedimentos para as praias na vizinhança. Estas praias, devido à elevada taxa de erosão, têm um déficit de sedimentos e portanto ao serem alimentadas artificialmente a quantidade de sedimentos transportados longitudinalmente manterá o equilíbrio da praia alimentada artificialmente assim como o equilíbrio das praias a sotamar.

A alimentação da barra tem como função criar uma zona mais elevada para provocar a pré rebentação das ondas que dissipa energia, reduzindo a capacidade de transporte de sedimentos das ondas e funcionando como retenção de sedimentos, à semelhança dos quebramares submersos referidos no capítulo 2.1.4. Esta alimentação pode ser feita através da praia, em que as ondas incidentes removem e transportam essa areia, depositada perto da praia, “offshore” formando a barra, ou através da deposição

dos sedimentos no mar relativamente perto da costa, sendo os sedimentos transportados através das correntes formadas pelas ondas para a zona onde se formará a barra. Esta última técnica pode ser muito pouco eficiente, podendo não ser a mais económica visto que grande parte dos sedimentos são transportados para outros locais que não o desejado e provavelmente necessitará de uma intervenção precoce, aumentando assim os custos de manutenção dessa praia.

2.2.2. PERFIS TIPO E CÁLCULO DE VOLUMES DE AREIA

Para se proceder à alimentação artificial de uma praia é necessário definir o volume de areia necessário para a execução da alimentação artificial assim como o perfil a construir. Em seguida apresentar-se-ão equações para o cálculo do volume de areia necessário por metro de praia para os vários tipos de perfis que proporcionem um funcionamento apropriado da praia quer para dissipação de energia quer como local de recreio. Admitindo que a areia a utilizar é igual à areia presente na praia o cálculo do volume de areia necessário para alargar a praia é dado pela equação (21), Dean (1991) citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006).

$$V = B_w(h_B + D_C) \quad (21)$$

O facto de a areia utilizada para alimentar a praia ser mais fina ou mais grossa do que a areia nativa, originará perfis de equilíbrio mais suaves ou mais íngremes, respetivamente. Perfis esses que podem ser intercetantes, em que o perfil de equilíbrio da praia após a alimentação artificial interseja o perfil natural da praia, ou não intercetante em que se forma um perfil mais suave e este alonga-se até à profundidade de fecho sem intercetar o perfil natural. A profundidade de fecho é definida como a profundidade a partir da qual a ondulação não interage com os sedimentos, esta profundidade pode ser limitada por obstáculos de grandes dimensões, como afloramentos rochosos ou quebramares. Esta profundidade de fecho é atingida a uma certa distância da costa, distância essa que depende da profundidade de fecho, equação (22), e que também poderá ser imposta caso exista um grande obstáculo. Relativamente à determinação da profundidade de fecho, esta poderá ser determinada por métodos formulados por Birkemeier (1985) e Houston (1996), referidos em Herbich (2000), mas neste trabalho esses métodos não serão abordados pois será estudada uma solução de um quebramar destacado que definirá a profundidade de fecho.

$$W_* = \left(\frac{D_C}{A_N}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (22)$$

De acordo com Dean (1991), citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006), o perfil será intercetante ou não intercetante quando a expressão (23) for inferior ou superior a 1, respetivamente. Esses perfis estão representados na Figura 12, onde se pode visualizar as variáveis de cálculo.

A utilização de areia fina levará sempre à formação de um perfil não intercetante de acordo com a expressão (23), enquanto a utilização de areia mais grossa pode dar origem aos dois tipos de perfis, onde A_N corresponde ao parâmetro de escala na situação natural e A_A corresponde ao parâmetro de escala da alimentação. Estes parâmetros dependem do diâmetro médio da areia e pode ser estimado através da tabela representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetro A em função do diâmetro médio da areia, retirada de U.S. Army Corps of Engineers (2006)

D(mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

$$B_w \left(\frac{A_N}{D_c} \right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{A_N}{A_A} \right)^{\frac{3}{2}} < 1 \text{ ou } > 1 \quad (23)$$

Para perfis intercetantes, a expressão (24) definida em U.S. Army Corps of Engineers (2006) para determinar o volume necessário para alargar a praia, em que B_w é a largura que se pretende adicionar à praia, não tem como variável a profundidade de fecho porque o perfil interceta o perfil natural não alcançando tal profundidade.

$$V = B_w h_B + \frac{3}{5} B_w^{\frac{5}{3}} A_N A_A \frac{2}{\left(A_A^{\frac{3}{2}} - A_N^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (24)$$

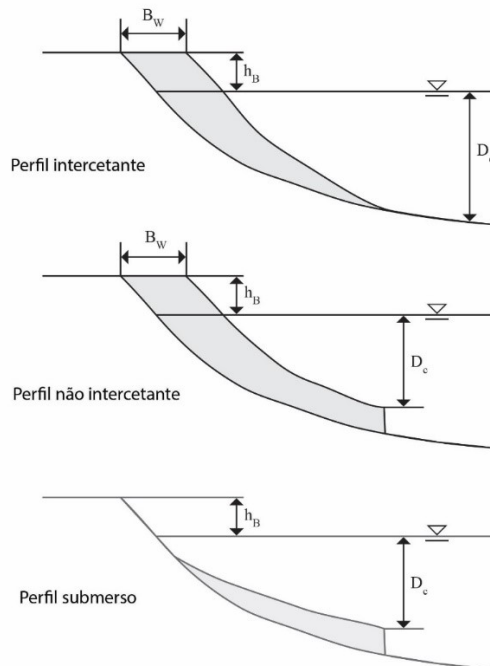


Figura 12 – Tipos de perfis de equilíbrio propostos por Dean, 1991, adaptado de U.S. Army Corps of Engineers (2006)

Para os perfis não intercetantes, Dean (1991), citado em U.S. Army Corps of Engineers (2006), formulou duas hipóteses. Uma em que é calculado o volume mínimo para haja condições para se alargar a praia, em que esse volume não será suficiente para criar uma faixa de praia seca mas estará no limiar entre a formação de uma faixa de praia seca, para um volume superior ao mínimo, e, caso esse volume seja inferior ao mínimo, e entre a formação de um perfil submerso. E outra que resultará num volume igual ou superior ao volume resultante da equação (25), em que se define a altura e largura da berma da praia, equação (26).

$$V = \frac{3}{5} \left(\frac{D_c}{A_A} \right)^{\frac{5}{2}} (A_N - A_A) \quad (25)$$

$$V = B_w * h_B + \frac{3}{5} \left(\frac{D_c}{A_A} \right)^{\frac{5}{2}} \left(A_N \left(1 + W \left(\frac{A_A}{D_c} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^{\frac{5}{3}} - A_A \right) \quad (26)$$

Para um projeto de alimentação artificial de uma praia, para além do volume de areia necessário para a sua execução do perfil é necessário definir também a inclinação dos taludes. As inclinações recomendadas em U.S. Army Corps of Engineers (2006) dependem da granulometria média da areia, para as quais é atribuída uma gama de inclinações consideradas adequadas, Tabela 7.

Tabela 7 – Inclinação adequada para os taludes superior e inferior relativamente ao D_{50}

D_{50}	Talude superior	Talude inferior
$D_{50} < 0.2$	1:20 – 1:15	1:35 – 1:20
$0.2 < D_{50} < 0.5$	1:15 – 1:10	1:20 – 1:15
$D_{50} > 0.5$	1:10 – 1:7.5	1:15 – 1:10

Para a determinação do perfil transversal de equilíbrio, Dean (1991,1998), citado em Herbich (2000), que continuou os estudos de Bruun (1962), citado em Herbich (2000), sobre modelos de transporte transversal de areia baseados em perfis transversais de equilíbrio das praias, formulou a equação (27), através da qual é possível obter a altura da praia, h , através da distância “*offshore*” e com base no parâmetro A_w , equação (28), parâmetro este que está relacionado com a velocidade de sedimentação da areia, w , equação (29), estando esta velocidade diretamente relacionada com o diâmetro médio da areia da praia.

$$h(y) = A_w y^{2/3} \quad (27)$$

$$A_w = 0.067 w^{0.44} \quad (28)$$

$$w = 14 D_{50}^{1.1} \quad (29)$$

Estes perfis e formulações revelam um grau de incerteza dado que os volumes calculados não são precisos, e não contabilizam o volume necessário para alimentar as dunas, tendo apenas como objetivo a obtenção de uma ordem de grandeza do volume necessário para a execução de uma alimentação artificial. Para o cálculo mais preciso destes volumes, para o caso de um projeto de alimentação artificial, deve recorrer-se à utilização de métodos numéricos como GENESIS (Herbich, 2000; U.S. Army Corps of Engineers, 2006).

2.3. SOLUÇÕES MISTAS DE QUEBRAMARES DESTACADOS COM ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL

As soluções referidas nos capítulos anteriores são soluções singulares, onde não se conjuga nem diversos tipos de estruturas nem a utilização de estruturas e alimentação artificial em simultâneo. Este capítulo incidirá apenas sobre a conjugação das soluções referidas nos capítulos 2.1 e 2.2.

Os quebramares destacados, para o caso de um quebramar singular, levarão à formação de uma saliência/tómbolo consoante o dimensionamento hidráulico, mas este dimensionamento apenas proporcionará condições favoráveis à sua formação. Na ausência de sedimentos ou devido a fluxos de sedimentos muito pequenos, levará a uma resposta que não a desejada, podendo não se formar um tómbolo, caso seja o pretendido, ou a resposta da linha de costa não ser significativa não originando a formação de um saliente com as condições desejadas. Ainda na ausência ou insuficiência de sedimentos poderá levar à formação do tómbolo/saliente desejado mas haverá uma incerteza de quanto tempo levará até à sua formação, o que poderá demorar anos e se houver um défice no caudal sólido, então provocará erosão nas praias adjacentes.

As soluções de alimentação artificial de praias, como já foi dito no respetivo capítulo, são apelidadas de soluções de “engenharia leve” devido à reversibilidade da solução, o que pode ser uma contrapartida, devido a não afetar a fauna e flora significativamente, em que ao reconstruir-se as dunas está a reconstruir-se um habitat para fauna e flora, e à medida que a praia perde sedimentos, parte desses sedimentos são transportados para praias adjacentes. Em Portugal será nas praias a sul (sotamar) devido à predominância das ondulações provenientes de noroeste. O grande problema de uma solução deste tipo é o facto da periodicidade com que se terá de alimentar artificialmente a praia, e também pelo facto desta periodicidade, vida útil da alimentação artificial, ser encurtada muito significativamente em ambientes muito energéticos, podendo a areia colocada na praia ser completamente removida um mês após a sua aplicação. Este problema está associado a costas muito energéticas, como é o caso da costa Portuguesa, que recebe constantemente agitações com alturas significativas e períodos de ondas muito elevados, que associado a uma amplitude de maré significativa limita as soluções de engenharia leve. E em zonas vulneráveis a combinação de uma agitação com altura de onda significativa e período elevado com uma preia-mar de águas vivas causará graves problemas de erosão.

Portanto, a conjugação de quebramares destacados com alimentação artificial da praia será uma relação simbiótica. A alimentação artificial servirá como catalisador para a formação da protuberância desejada na linha de costa e passando o quebramar destacado a funcionar como esperado no projeto, e evitando a ocorrência de erosões nas praias adjacentes sendo o volume de areia perdido nas áreas onde ocorrerá erosão, parte do volume que foi colocado no âmbito da alimentação artificial. O quebramar destacado será favorável para o projeto de alimentação artificial, dado que este aumenta a vida útil da alimentação artificial. Isto, porque o quebramar constitui uma barreira paralela à costa, que impedirá que parte dos sedimentos nessa praia sejam removidos. Para o projeto de alimentação artificial o quebramar destacado limitará a profundidade de fecho, reduzindo significativamente a área de interação entre a agitação e os sedimentos.

2.4. EXEMPLOS DE TÔMBolos NATURAIS E QUEBRAMARES DESTACADOS

2.4.1. EXEMPLOS DE ESTRUTURAS NATURAIS QUE LEVARAM À FORMAÇÃO DE TÔMBolos

Os afloramentos rochosos ou ilhas que se encontrem próximas da costa podem levar à formação de protuberâncias na linha de costa, salientes/tômbolos. Estas estruturas naturais funcionam como quebramares destacados, e cujas condicionantes serão semelhantes às referidas no capítulo 2.1 sobre o dimensionamento hidráulico de um quebramar destacado, alterando assim a linha de costa de igual forma.

É possível encontrar diversos exemplos ao longo de toda a costa portuguesa quer de salientes quer de tômbolos que se formaram naturalmente. A zona norte de Portugal é a zona com mais exemplos deste tipo de estruturas naturais que provocam protuberâncias na linha de costa como salientes/tômbolos, nomeadamente nas zonas de Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos e Gaia. Neste capítulo serão apresentados exemplos que se consideraram mais relevantes e interessantes para o estudo em questão.

Em Viana do Castelo encontraram-se dois exemplos interessantes, um na praia da Arda em Afife e outro na praia da Amorosa. Na praia da Arda, existe um afloramento rochoso cuja forma se assemelha à de um quebramar destacado, e apesar desse afloramento rochoso ser galgável, dado que as rochas emersas não serão suficientemente altas e não formam uma barreira, permite a dissipação da agitação incidente e promove a acreção de sedimentos a sotamar, onde se formou um tômbolo que pelo menos nos últimos 10 anos se manteve estável, Figura 13.

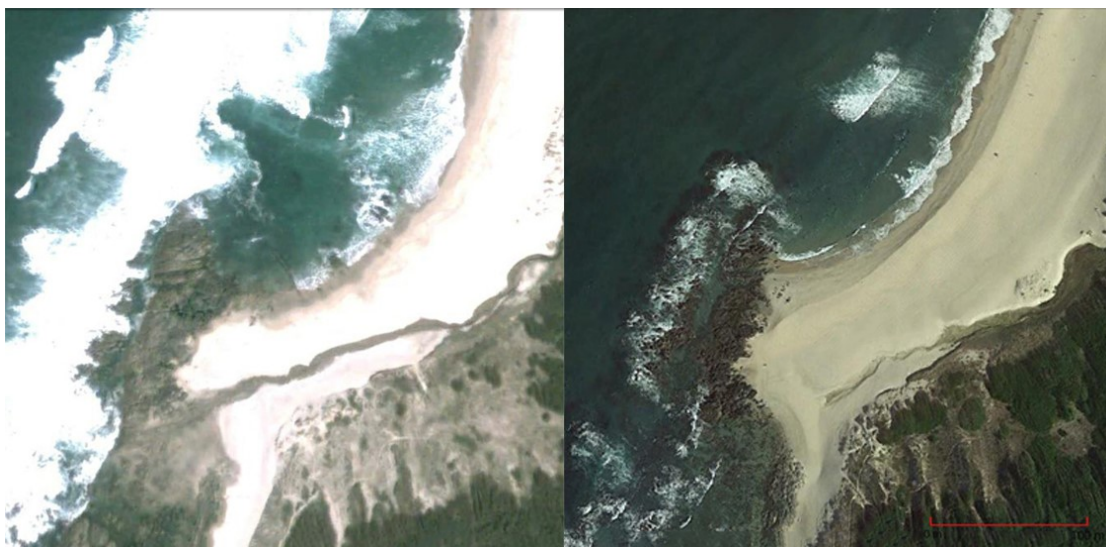


Figura 13 – Praia da Arda em 2003 e 2013

Na praia da Amorosa, existem vários afloramentos rochosos ao longo da praia cuja disposição e forma apresentam alguma regularidade e se assemelham a recifes artificiais ou quebramares submersos, embora uma parte esteja emersa. Estes afloramentos rochosos encontram-se muito próximos do nível da água do mar, onde portanto ocorrerão galgamentos, o que à partida não contribuirá para a formação de um ou mais tômbolos estáveis. Porém, podem-se formar vários tômbolos, Figura 14 em 2003. Comparando as imagens é possível verificar que o tômbolo localizado mais a norte foi emagrecendo até se formar uma saliência que se manteve estável desde 2010 a 2013. E que na zona central em certas

alturas é possível verificar a existência de um tômbolo, mas sendo este muito instável. Portanto, este caso demonstra que apesar de haver condições propícias para a formação de tômbolos não implica que estes se formem, e sobretudo se mantenham estáveis. Embora se possa atribuir essa instabilidade à permeabilidade desta estrutura natural relativamente à agitação incidente, comparando as estruturas naturais da praia da Arda e da praia da Amorosa é possível identificar algumas semelhanças, apesar de a primeira ter dimensões inferiores, é possível concluir que mesmo estruturas parcialmente submersas que permitam galgamentos podem levar à formação de tômbolos estáveis como o caso da praia da Arda.



Figura 14 – Vista aérea da praia da Amorosa em 2003, agosto de 2006, outubro de 2006, março de 2010, agosto de 2010 e em 2013

Em Mindelo à semelhança da praia da Arda, é possível encontrar um afloramento rochoso, “Ponta da Gafa”, cujo funcionamento se assemelha a um quebramar destacado singular e apesar da sua irregularidade, permitiu a formação de um tômbolo com um desenvolvimento considerável, Figura 15, e que se manteve estável desde 2003 até à data, em que as diferenças visíveis na praia para os dois deverão ser consequência das marés, comparando pelo afloramento rochoso exposto entre as duas imagens.



Figura 15 – Vista aérea da praia da Gafa, Mindelo, em 2003 e em 2013

Um dos casos mais interessantes encontrados, foi na zona de Peniche, no Baleal, em que dois afloramentos rochosos de grandes dimensões que funcionam como um quebramar destacado emerso singular apesar da existência de dois afloramentos rochosos, e que possivelmente levou à formação de um tómbolo exemplar, Figura 16. Esta estrutura natural é de grandes dimensões, quer em extensão, em que o maior afloramento rochoso tem cerca de 745 metros e o menor cerca de 355m, quer em altura, não permitindo a ocorrência de galgamentos, promovendo assim a acreção de sedimentos a sotamar desta estrutura, levando à construção de um grande tómbolo, cerca de 48 ha, cálculo expedito através do Google Earth. Observando as imagens aéreas do Baleal é possível verificar que desde o início do século XX este tómbolo se tem mantido estável, sendo apenas inundado em PMAV, situação em que a estrada de acesso ficará interditada.



Figura 16 – Vista aérea do Baleal no início do século XX, fotografia retirada de [1], e em 2013

2.4.2. EXEMPLOS DE QUEBRAMARES DESTACADOS EM PORTUGAL

As condições de agitação aliadas à amplitude elevada das marés tem desencorajado a aplicação de quebramares destacados, pois a sua aplicação seria bastante mais cara e de maior dificuldade de execução do que outras soluções como esporões. Como consequência, em Portugal existem apenas 5 exemplares de quebramares destacados.

As estruturas destacadas que existem em Portugal estão todas na região norte, Castelo de Neiva, Vila do Conde, porto de Leixões, Foz do Douro e Aguda. As estruturas de Castelo de Neiva e da Aguda são bastante semelhantes já que são compostas por uma estrutura vertical de betão com um talude de enrocamento na face exposta à agitação, ambas originaram a formação de um tómbolo assimétrico e têm funções de defesa costeira e portuárias. O quebramar de Vila do Conde é um quebramar de taludes de enrocamento e apesar do elevado grau de degradação, mantém a estabilidade do tómbolo formado. O quebramar submerso do Porto de Leixões é um quebramar de taludes e tem como função proteger o quebramar do porto, e como está muito próximo do quebramar principal não origina qualquer tómbolo. O quebramar destacado mais recente será o quebramar da Foz do Douro, que foi projetado para desempenhar funções de proteção costeira, de apoio à navegação comercial, de recreio e de pesca e para reabilitar a restinga da Foz do Douro.

2.4.2.1 Quebramar destacado de Castelo de Neiva

Este quebramar destacado foi construído no ano 2000, e foi projetado principalmente para funcionar como um porto de pesca. A partir da imagem, que foi tirada a partir da praia a norte do quebramar, é possível verificar a formação de um tômbolo quase simétrico. A formação deste tômbolo favoreceu a acumulação de areia a norte deste, porque funciona como um esporão em que a areia transportada longitudinalmente foi-se acumulando ao longo dos anos, a norte do quebramar, acentuando cada vez mais a assimetria deste tômbolo. Na Figura 17 é possível ver a evolução do tômbolo nos últimos 10 anos. Os volumes de areia acumulados devido a estes quebramares são muito grandes, e é possível ter essa perceção junto do quebramar onde a areia se situa a cotas iguais ou superiores à da própria estrutura, Figura 18, e observando as alterações na linha de costa a norte, que ao longo dos anos foi avançando vários metros e construindo assim um areal bastante extenso. As características deste quebramar estão especificadas na Tabela 8. Está em curso uma operação de remoção de parte das areias do tômbolo para alimentar as praias a sul (sotamar).



Figura 17 – Evolução do tômbolo do quebramar destacado de Castelo de Neiva (2003, 2006, 2010 e 2013)



Figura 18 – Vista a partir da praia para o quebramar destacado de Castelo de Neiva

Tabela 8 – Características do quebramar destacado de Castelo de Neiva

Onda de projeto	H=4 a 5m
Profundidade máxima	d= -2m (Z.H.)
Comprimento	$L_s=250m$
Funções	Proteção costeira Portinho de pesca
Núcleo	Estrutura vertical de betão: Cota de coroamento = 6m Largura da superestrutura = 5m
Talude extradorso	Blocos de enrocamento Cota máxima = 6m (Z.H.) Inclinação do talude

2.4.2.2. Quebramar destacado de Vila do Conde

Este quebramar encontra-se perto do porto da Póvoa de Varzim, a sul, e deverá ter sido construído algures na década de 80. Está severamente degradado. Não terá sido completamente destruído devido à proteção fornecida pelo porto que se encontra a norte do quebramar. Algumas secções foram praticamente destruídas na totalidade, Figura 19.



Figura 19 – Quebramar destacado de Vila do Conde e o respetivo tómbolo formado

O tômbolo formado permanece estável e com simetria relativamente à sua forma, mas esse eixo de simetria não coincide com o eixo de simetria do quebramar, Figura 20. Na Tabela 9 são apresentadas algumas características que se conseguiram apurar.



Figura 20 – Vista aérea do quebramar destacado de Vila do Conde em 2003 e 2013

Tabela 9 – Características do quebramar destacado de Vila do Conde

Onda de projeto	H = ?
Profundidade máxima	d = ?
Comprimento	$L_s=180\text{m}$
Funções	Proteção costeira
Taludes	Blocos de enrocamento
	Cota de coroamento = aproximadamente +4m (Z.H.)
	Inclinação do talude = ?
	Largura do coroamento = ?

2.4.2.3. Quebramar submerso do porto de Leixões

A construção do quebramar do porto de Leixões teve início no ano de 1979 e foi concluído no ano de 1982, e surgiu com a necessidade de dissipar a energia das ondas incidentes na cabeça do quebramar, para a proteção do quebramar principal, que já havia colapsado previamente. Desde a construção do quebramar submerso que o quebramar principal se tem mantido estável. Este quebramar submerso apenas foi construído na cabeça do quebramar principal, dado ser a secção mais instável de qualquer estrutura marítima, mas caso houvesse capital o quebramar submerso teria sido construído ao longo de toda a extensão do quebramar principal. Na Tabela 10 apresentam-se as características do quebramar submerso.

Tabela 10 – Características do quebramar submerso do porto de Leixões

Onda de projeto	H=10m
Profundidade máxima	d = -17m (Z.H.)
Comprimento	L _s =175m
Funções	Proteção do quebramar
Núcleo	Enrocamento de 1 a 5t
	Cota de coroamento = -7m (Z.H.)
Taludes	Paralelepípedos de betão de 90t
	Cota de coroamento = 0m (Z.H.)
	Inclinação do talude de 2:1
	Largura do coroamento = 11.5m

2.4.2.4. Quebramar destacado da Foz do Douro

Este quebramar destacado é o mais recente em Portugal até à data, e é considerada uma obra exemplar do ponto de vista hidráulico. Foi construído, no ano de 2006, conjuntamente com o molhe norte. O seu objetivo seria estabilizar a foz do Douro, cuja restinga seria bastante instável e apresentava uma tendência para o seu emagrecimento, e as condições de navegabilidade neste local seriam bastante complicadas. Na Figura 21 mesmo sendo uma comparação entre dois anos consecutivos é perceptível a enorme dinâmica que existe naquele local devido à alteração significativa da morfologia da restinga na sua extremidade. Enquanto que na Figura 22, é perceptível que esta obra permitiu a acumulação de areia e garantiu a estabilidade da restinga. Dado que entre 2006 e 2013 a extremidade da restinga se alterou consideravelmente, relativamente à situação natural, mas após esse ajuste da morfologia devido à presença da estrutura destacada a restinga manteve uma morfologia semelhante ao longo de vários anos. Na Tabela 11 estão apresentadas as condições de implantação da estrutura, a sua constituição e as funções para o qual foi projetado.



Figura 21 – Alterações na morfologia da restinga da Foz do Douro entre 2003 e 2004

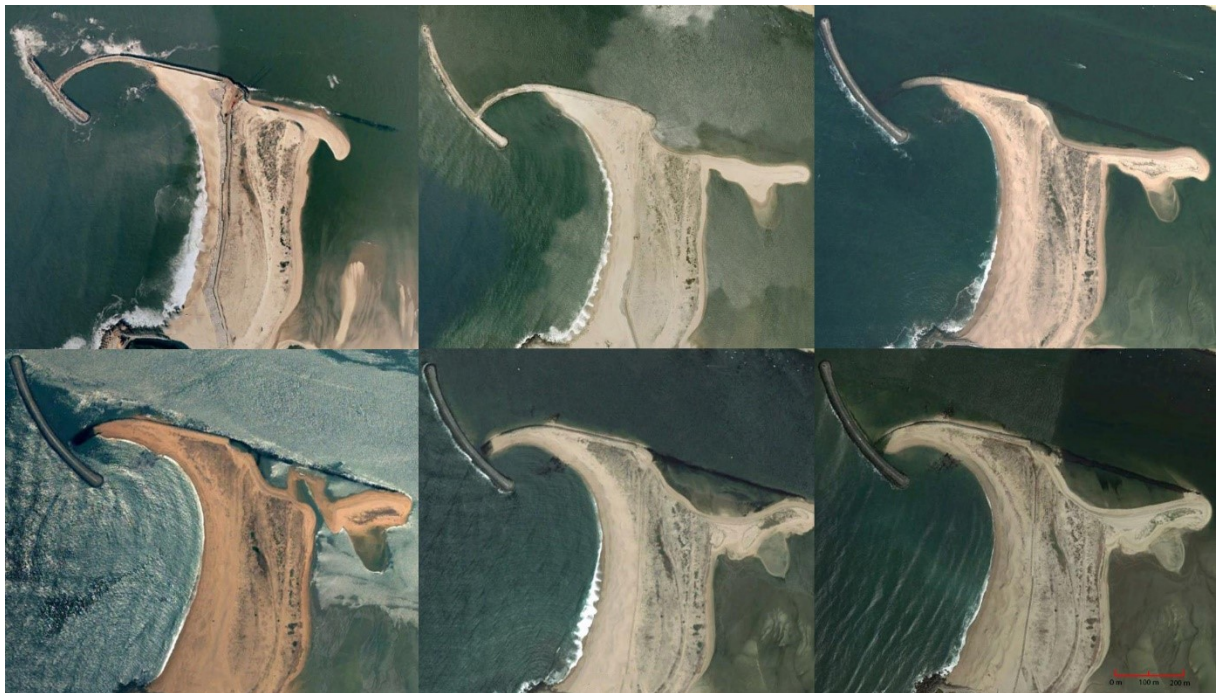


Figura 22 – Alterações da restinga da Foz do Douro após a construção do quebramar destacado (1ª linha corresponde a imagens aéreas em 2006, 2007 e 2009, e na 2ª linha as imagens são dos anos 2010, 2012 e 2013)

Tabela 11 – Características do quebramar destacado da Foz do Douro

Onda de projeto	H= 6 a 7m
Profundidade máxima	d= -4 a -5m (Z.H.)
Comprimento	$L_s \approx 460\text{m}$
Defesa costeira	
Funções	Apoio à navegação comercial, de recreio e pesca
	Reabilitação da restinga do Douro
Núcleo	TOT
	Cota de coroamento = +3.7 (Z.H.)
Taludes	Cubos Antifer de betão de alta densidade de 8t
	Manto intermédio composto por enrocamento de 1 a 2t
	Cota coroamento = +6m (Z.H.)
	Inclinação do talude de 2:1
	Largura do coroamento $\approx 12\text{m}$
	Superestrutura com uma largura de 4m

2.4.2.5. Quebramar destacado da Aguda

Este quebramar é muito semelhante ao quebramar de Castelo de Neiva, pela sua forma, pelas suas funções e pelo tómbolo a que deu origem. Este quebramar destacado, construído entre 2001 e 2002, deu origem a um tómbolo assimétrico de grandes dimensões e que nos últimos 10 anos continuou a acumular areia quer a barlar da estrutura quer a sotamar, Figura 23. A sotamar este assoreamento é altamente indesejável visto que este portinho de pesca tem operacionalidade condicionada devido à constante acumulação de areia. Neste quebramar, devido à sua cota de coroamento ser relativamente baixa, as ondas galgam o quebramar com alguma facilidade, podendo-se observar uma fossa de erosão junto ao quebramar, Figura 24. Apesar de ser frequentemente galgado a sua eficácia para o proteção da costa foi excelente, já que acumulou areia suficiente para que se tenha formado um tómbolo assimétrico de grandes dimensões. Acumulou areia de tal forma, que parte do quebramar se encontra encoberto com areia, e em alguns locais perto do quebramar a areia está a uma cota superior à do próprio coroamento da estrutura. E todos os anos são realizadas operações de transporte de areia da praia a norte do tómbolo para as praias a sul.

Na Tabela 12, é possível ver as características do mesmo e como se pode constatar são bastante semelhantes, sendo a maior diferença o talude intradorso visto que este não existe no quebramar de Castelo de Neiva.



Figura 23 – Vista aérea do quebramar destacado da Aguda (1ª linha corresponde às imagens para os anos 2003, 2004, 2006 e 2007, e na 2ª linha corresponde às imagens para os anos 2009, 2010, 2011 e 2013)



Figura 24 – Fossa de erosão presente no tómbolo junto ao quebramar

Tabela 12 – Características do quebramar destacado da Aguda

Onda de projeto	H=4 a 5m
Profundidade máxima	d= -2m (Z.H.)
Comprimento	L _s =330m
Funções	Proteção costeira Portinho de pesca
Núcleo	Estrutura vertical de betão ciclópico: Cota de coroamento = 5.5m (Z.H.) Largura da superestrutura = 6m
Talude Intradorso	Blocos de enrocamento de 7 a 9t Cota máxima = 4 m (Z.H.) Inclinação do talude de 3:2
Talude extradorso	Blocos de enrocamento de 7 a 12t Cota máxima = 3.5m (Z.H.) Inclinação do talude de 3:2

3

TRABALHO LABORATORIAL

3.1 ENQUADRAMENTO

Os trabalhos laboratoriais foram realizados com a colaboração do projeto Geoprotec.

Para que no final deste trabalho haja a possibilidade de comparar soluções para um dado local e fazer um balanço entre as vantagens e desvantagens das soluções, este trabalho laboratorial basear-se-á nas condições de agitação e no perfil de praia utilizado por Silva (2010). Os resultados provenientes do trabalho de Silva (2010), são mais detalhados do que os dados que serão apresentados no presente trabalho visto que se trata de uma tese de doutoramento. Em termos de equipamentos de medição no presente trabalho não será utilizado o perfilador de fundos devido a uma avaria, o que levará à utilização de métodos expeditos que resultarão em menor precisão nas medições dos perfis de praia antes e depois do ensaio.

Neste capítulo apresentam-se as condições onde se realizaram os ensaios, assim como todas as variantes que se poderiam incluir nos ensaios e os ensaios que foram efetuados efetivamente. Neste trabalho foi utilizada uma agitação perpendicular à linha de costa, não considerando então o transporte longitudinal. Sendo assim admitiu-se que as alterações na linha de costa seriam simétricas relativamente ao eixo de simetria da estrutura.

Com o trabalho laboratorial pretende-se analisar o comportamento do tómbolo formado, quer naturalmente ou artificialmente por alimentação, num quebramar destacado ou num recife. O interesse deste trabalho será considerar a modelação física de quebramares destacados em condições de agitação e níveis de maré típicos da costa portuguesa, mas sem simular situações extremas de temporais.

3.2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

3.2.1 TANQUE DE ONDAS

Os trabalhos laboratoriais foram realizados no Laboratório de Hidráulica (LH), da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), que possui um tanque de ondas com 12 metros de largura, 28 metros de comprimento e 1.2 metros de profundidade máxima, Figura 25. O tanque de ondas é composto por batedores que reproduzem os estados de agitação marítima pretendidos, por uma praia dissipadora na outra extremidade do tanque que tem como objetivo dissipar a energia das ondas produzidas e reduzir a reflexão das ondas dentro do tanque, o que neste trabalho não terá impacto, visto que o modelo será construído parcialmente sobre essa praia, e por um canal que é utilizado principalmente para ensaios em 2D. De referir que nos muros laterais do tanque de ondas existem duas

janelas, uma em cada muro para observação de fenómenos que ocorram abaixo do nível de água. Para reduzir os efeitos de parede do canal, foram colocadas umas divisórias, para isolar os pilaretes que sustentam as mesmas. Estas divisórias apenas recobriam apenas o interior do canal, daí a necessidade de colocar divisórias para que não exista interferência na agitação por parte dos pilaretes na área em estudo. Porém, essas divisórias estão um pouco deformadas e o encaixe entre elas não era perfeita, deixando passar areia entre as divisórias.

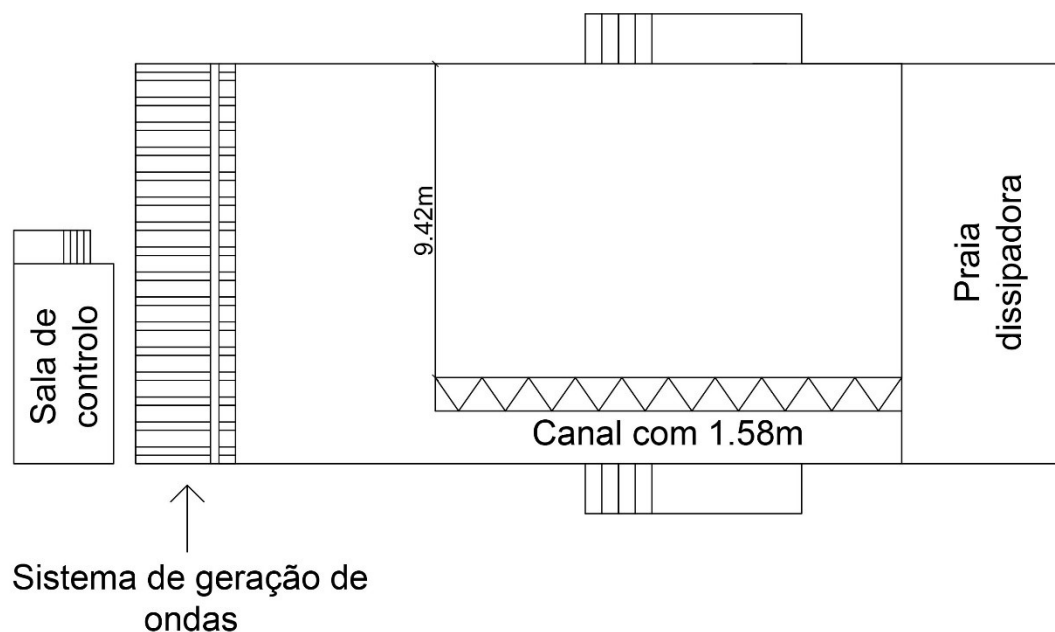


Figura 25 – Esquema do tanque de ondas do LH, da SHRHA, da FEUP

3.2.2 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ONDAS

Este tanque possui um sistema de geração de agitação marítima, Figura 26, do tipo pistão constituído por 2 módulos com 8 batedores em cada um dos módulos. Os batedores são revestidos com fibra de vidro e são independentes entre si, o que permite a geração de agitação segundo direções oblíquas, porém neste estudo a agitação produzida pelo sistema será perpendicular à costa.

Este sistema funciona com profundidades até 1 metro, e possibilita a reprodução de ondas de crista longa (2D) e ondas de crista curta (3D), para agitações regulares e irregulares, e está munido de um sistema de absorção dinâmica da reflexão (*HR Wallingford*). Os equipamentos são controlados através da sala de controlo, onde estão instalados os sistemas informáticos de geração, aquisição e análise de sinal, fornecido pela unidade de geração e pelas sondas presentes no tanque que medem a elevação instantânea da superfície livre.



Figura 26 – Sistema de geração de ondas

3.2.3 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

As sondas de níveis hidrodinâmicos têm um funcionamento bastante simples, e que se encontram ligadas ao módulo de monitorização de ondas e ao *software* de aquisição e análise de dados, *HR WaveData*.

As sondas de níveis hidrodinâmicos permitem verificar se a agitação produzida pelos batedores corresponde à agitação pretendida, analisar a altura de onda incidente na estrutura e permite analisar a reflexão provocada pela estrutura.

As sondas de níveis hidrodinâmicos são compostas por um par de fios inoxidáveis que, com o contacto com a superfície livre provoca uma diferença de potencial entre os fios proporcional à sua imersão. O *software* regista estas diferenças de potencial, que varia entre +10 e -10 V, e que são convertidas em medições do nível de imersão da sonda, que é relacionável com a altura da superfície livre.

Este *software* para além do processamento de dados inclui uma rotina para a calibração das sondas, que devido a partículas finas ou devido à eutrofização da água do tanque levam a imprecisões nas medições da sonda. A calibração das sondas de níveis hidrodinâmicos consiste na obtenção de uma reta por um ajuste linear de três pontos, ou mais, que resulte num coeficiente de correlação linear de 0.9999, no mínimo, sendo 1 o valor ideal. A calibração das sondas é necessária sempre que se altera o nível de água ou quando se esvazia o tanque.

Em alguns ensaios observou-se que os aparelhos de calibração das sondas por vezes não permitiam o ajuste do nível inicial, onde a voltagem deveria ser igual a 0, devido a se encontrar numa situação limite, mas em calibrações posteriores o ajuste já tinha de ser feito noutro sentido permitindo a sua calibração correta.

O processo da calibração das sondas pode ser bastante moroso quando as sondas não estão acessíveis fora do tanque e obrigam a entrada do operador no tanque. A perturbação imposta pela entrada do operador no tanque implica um período de 20 a 30 minutos até que a água do tanque esteja em repouso. Posto isto, a calibração das sondas, caso não estivessem acessíveis pelo exterior do tanque, obriga a que por cada calibração se despenda entre 1 hora e 1.5 horas.

Portanto, para se contornar esta perda de tempo durante as calibrações, colocaram-se as sondas suspensas na ponte existentes no tanque de ondas, permitindo ajustar as sondas sem que fosse necessário entrar no tanque e economizar tempo, Figura 27. Como os perfis foram tirados manualmente, o que requeria entrar dentro do tanque, teve-se o cuidado de calibrar as sondas antes da medição inicial também para economizar tempo.



Figura 27 – Posicionamento das sondas no tanque

3.2.4 EQUIPAMENTOS DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM

Neste trabalho considerou-se interessante fazer um registo fotográfico ao longo do ensaio que permita a elaboração de um pequeno vídeo, na ordem dos segundos, que reproduza as alterações na morfologia da linha de costa provocadas por cada ensaio. Estes vídeos foram importantes para a análise da alteração da morfologia da linha de costa porque resume os ensaios, quase todos com duração de 1 hora, em apenas 30 segundos, tornando as alterações na morfologia da costa mais evidentes. Para tal utilizou-se a GoPro™, Figura 28, suspensa sobre a praia utilizando a grua disponível no LH.

Para gravar ensaios ou fotografar detalhes em ensaios, equipamentos e utensílios foi utilizada a máquina Canon™ 1100D, Figura 29.



Figura 28 – Câmera de ação GoPro™ Hero 3+



Figura 29 – Câmera fotográfica Canon™ 1100D

3.3 PLANO DE ENSAIOS

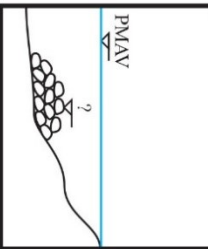
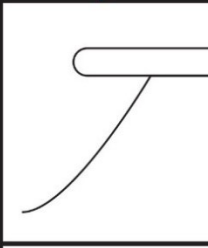


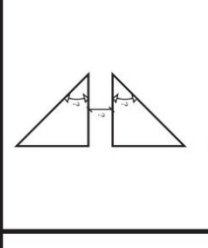
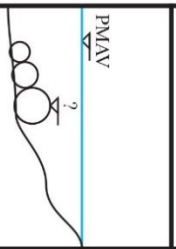
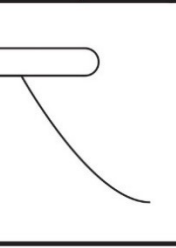


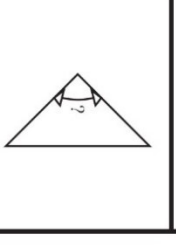

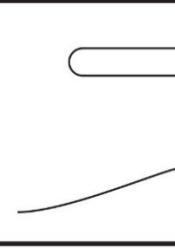
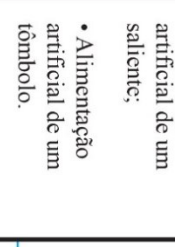

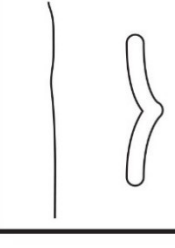
3.3.1 ENQUADRAMENTO

O dimensionamento de um quebramar destacado tem muitas variantes, e como tal as combinações que é possível fazer são inúmeras. Desde a variação na tipologia do quebramar, se este é emerso, submerso ou um recife artificial, o seu comprimento, a distância a que está da costa, a cota de coroamento, a forma do quebramar, se é retilíneo, curvo, entre outros. Apresentar-se-á neste capítulo uma tabela resumo com todas as variantes e combinações possíveis, que o autor desenvolveu e que poderia utilizar se não existisse uma grande restrição quanto ao tempo de utilização do tanque. E dentro dessas combinações, apresentar-se-á outra tabela com as combinações que o autor utilizou como base para reproduzir em modelo.

3.3.2 COMBINAÇÕES POSSÍVEIS

A Tabela 13 foi elaborada em função da primeira coluna, onde estão definidos os tipos de quebramar. Se as colunas seguintes não estiverem divididas significa que essas opções poderão ser aplicadas a todos os tipos de quebramar representados. Caso esteja dividida essas opções poderão ser aplicadas de acordo com a respetiva divisão.

Tabela 13 – Combinações possíveis

Tipo de quebramar e cota de coramento	$\frac{L_s}{X}$	Tipo de alimentação artificial	Nível de água	Forma do quebramar	Orientação do quebramar	Agitação	
		<ul style="list-style-type: none">• Sem alimentação artificial;• Aumento da faixa de praia seca;• Alimentação artificial de um salicnte;• Alimentação artificial de um tómbolo.				<div>Regular $\begin{cases} H=? \\ T=? \end{cases}$</div> <div>Irregular $\begin{cases} H=? \\ T=? \end{cases}$</div> <div>$\theta=?$</div>	
							
							

3.3.3 PLANO DE ENSAIOS

Devido à escassez de tempo de disponibilidade da instalação experimental (duas semanas) e devido ao trabalho moroso que é necessário para a construção de modelos em 3D, optou-se por considerar apenas um nível de maré, um estado de agitação para todos os ensaios, Tabela 14, e uma relação constante do comprimento da estrutura sobre a distância da estrutura à costa, que favoreça a formação de um tómbolo para todos os ensaios. A relação entre o comprimento da estrutura e a distância à costa será a mesma para o quebramar destacado emerso e submerso, isto para se poder analisar a influência da cota do coroamento na morfologia da linha de costa. As variáveis neste plano de ensaios serão os tipos de estruturas e as diferentes alimentações artificiais, apresentados na Tabela 15.

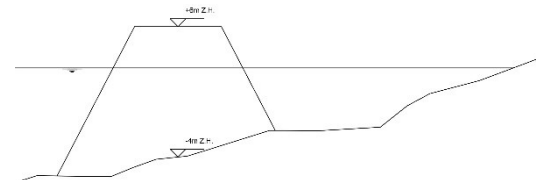
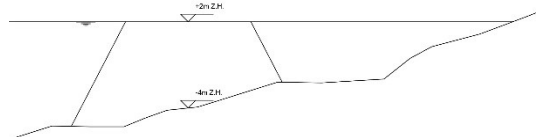
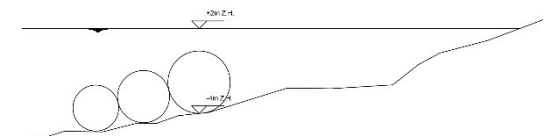
Em termos de sequência de trabalho, considerou-se que seria mais vantajoso ensaiar todas as estruturas para cada um dos tipos de alimentação, ao invés de ensaiar para uma das estruturas todos os tipos de alimentação e repetir o processo para as restantes estruturas. Será mais fácil construir várias vezes a mesma estrutura do que adicionar grandes volumes de areia e depois retirar os mesmos para voltar à situação inicial. Como se começará pela série I, após esse ensaio, o perfil de praia a utilizar na série II será o perfil final do último ensaio. Isto porque se considera que a eficiência das estruturas ao longo das séries diminui e como não há a possibilidade de fazer ensaios de longa duração para medir a variação dos perfis ao longo do tempo não há grande interesse em reproduzir o mesmo perfil para todas as séries.

Este plano de ensaios resulta num total de nove ensaios, que serão realizados num período entre 2 a 2.5 semanas. Para a conclusão do perfil ativo em modelo, deverão ser necessários entre 2 a 3 dias. A duração de cada ensaio dependerá do tempo que o modelo necessita para que alcance uma situação de equilíbrio morfológico.

Tabela 14 – Condições de agitação e nível de água, em protótipo, a utilizar em todos os ensaios

Altura de onda	2m
Período de pico	12s
Nível de água	+2m Z.H.

Tabela 15 – Variáveis consideradas no plano de ensaios

Tipo de quebramar	Alimentação artificial
<p>Série I</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sem alimentação artificial (SAA); • Alimentação artificial de um saliente (AAS); • Alimentação artificial de um tómbolo (AAT).
<p>Série II</p> 	
<p>Série III</p> 	

3.4 DIMENSIONAMENTO DO MODELO FÍSICO 3D COM FUNDOS MÓVEIS

3.4.1 CASO DE ESTUDO

O caso de estudo deste trabalho será baseado no protótipo e modelo definidos por Silva (2010). O protótipo utilizado é referente a um troço de praia a sul da povoação da Vagueira, no setor costeiro Aveiro – Mira. Este protótipo integra um esporão com 145 metros, mas não será incluído no modelo, apenas se utilizará o perfil de praia elaborado por Silva (2010) para a situação em que não existe o esporão.

As condições de agitação marítima para este local são caracterizadas por uma altura de onda significativa média entre 1 e 2 metros, associada a um período de pico médio entre 8 e 12 segundos, e com uma direção de incidência de onda ao largo de cerca de 15° , que neste estudo não será tida em conta e utilizar-se-á uma direção perpendicular à praia. O nível médio da água do mar é de +2 metros em relação ao zero hidrográfico (ZH). A areia que constitui o troço de praia do protótipo é essencialmente constituída por areia de quartzo, $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$, com um diâmetro médio de 0.5 milímetros. Silva (2010) considerou que o perfil de praia mantém uma configuração de equilíbrio entre a profundidade de fecho, D_c , e o ZH, e apresenta um declive regular na parte emersa da praia de 0.05, entre o ZH e o limite de espraimento. O limite de espraimento corresponde à maior altura de onda na rebentação, o que levará a uma dimensão vertical da praia com cerca de 12 metros, que corresponderá à altura desde a profundidade de fecho até ao limite de espraimento.

Tabela 16 – Tabela resumo das condições de agitação médias e das características do troço de praia

Altura de onda significativa média, H_s	1 – 2 metros
Período de pico médio, T_p	8 – 12 segundos
Nível médio da água do mar	2 metros (Z.H.)
Declive da praia emersa	0.05
Diâmetro mediano dos sedimentos, D_{50}	0.5 milímetros
Profundidade de fecho	8.7 metros
Limite de espraimento	2.9 metros
Dimensão vertical	Cerca de 12 metros

3.4.2 Definição das escalas

Como já foi dito previamente, este estudo tentará reproduzir o modelo de Silva (2010) mas com uma solução estrutural diferente. Portanto, os quadros resumos com escalas que serão apresentadas em seguida são com base no trabalho de Silva (2010), Tabela 17.

Tabela 17 – Grandezas físicas fixadas pelas propriedades do fluido e do material sedimentar no modelo com fundos móveis, (Silva, 2010)

Grandeza	Protótipo	Modelo	N
g (m/s ²)	9.81	9.81	1.00
u (cm ² /s)	0.0136	0.0132	1.03
ρ (kg/m ³)	1025	1000	1.03
ρ_s (kg/m ³)	2650	2650	1.00
s	2.58	2.65	0.97
ρ' (kg/m ³)	1.58	1.65	0.96
D_{50}	0.5	0.27	1.9
w	0.0622	0.0349	1.8
A_w	0.1497	0.1161	1.3

Após o estudo de Silva (2010) para determinar os critérios de escala que poderiam ser utilizados para o projeto do modelo tridimensional com fundos móveis realizado, concluiu que os critérios para modelos não distorcidos não poderiam ser utilizados. Isto porque estes métodos conduzem a sedimentos muito finos, cujo comportamento não é semelhante ao de uma areia, a extensões de praia que não seriam suficientes para representar o protótipo pretendido e conduzem a resoluções inaceitáveis para as medições das variações do fundo.

Para modelos distorcidos de transporte em suspensão, que são dependentes da velocidade de queda/sedimentação, os critérios de Le Méhauté (1970), Hughes (1983), Wang *et al.* (1990), e Vellinga (1982), são válidos para a reprodução do protótipo, (Silva, 2010).

Silva (2010) optou pelas leis de Vellinga (1982), que foram definidas com base num grande número de ensaios em modelo físico, recomendadas por Dean (1985) e a partir da qual definiu as escalas que poderiam ser utilizadas na elaboração do modelo, Tabela 18.

Serão esperados efeitos de escala associados à ausência de semelhança completa para processos hidrodinâmicos, à ausência de semelhança completa para os processos de transporte sedimentar e devido à distorção do modelo.

Tabela 18 – Parâmetros de dimensionamento do modelo com fundos de areia ($D_{50} = 0.27 \text{ mm}$) em função das escalas geométricas, adaptado de Silva (2010)

$D_{50} \text{ (modelo)} = 0.27\text{mm}$							
N_x	100	90	80	70	60	50	74
N_z	47	43	40	36	32	27	37
N_x / N_z	2.13	2.08	2.03	1.97	1.90	1.83	1.99
$\Delta x_p \text{ (m)}$	942	848	754	659	565	471	697
$\Delta z_m \text{ (m)}$	0.31	0.34	0.37	0.41	0.46	0.54	0.4

A escala $N_x = 74$ e $N_z = 37$, escala das dimensões em planta e vertical respetivamente, foi a escala utilizada na elaboração do modelo de Silva (2010) e que será utilizada neste trabalho. Esta escala permitirá reproduzir em modelo uma extensão de praia com 697 metros nos 9.42 metros disponíveis no tanque de ondas. A escala do comprimento, N_l , foi considerada igual à escala da dimensão vertical.

O perfil da praia utilizado será o mesmo perfil utilizado em Silva (2010), Figuras 30 e 31, assim como a areia, com uma massa volúmica de 1037 kg/m^3 , utilizada para a construção do modelo, disponível em stock.

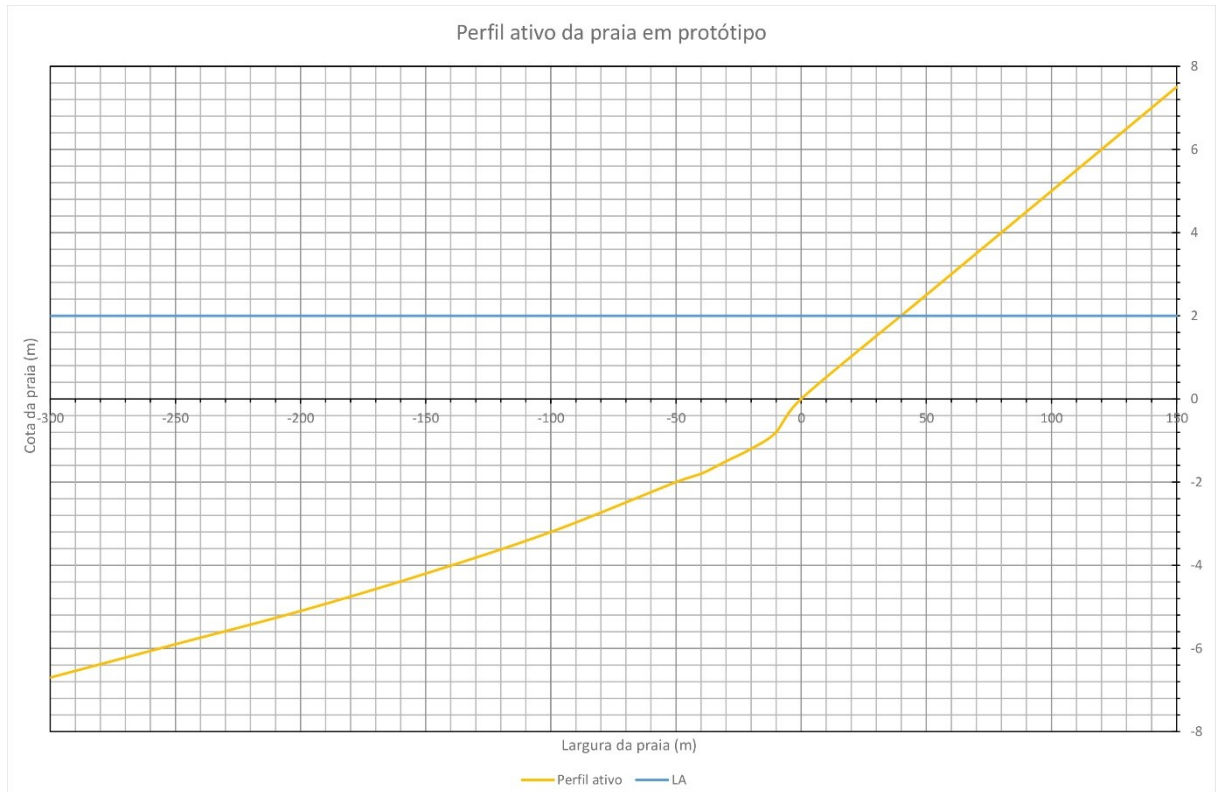


Figura 30 – Perfil ativo da praia em protótipo definido por Silva (2010)

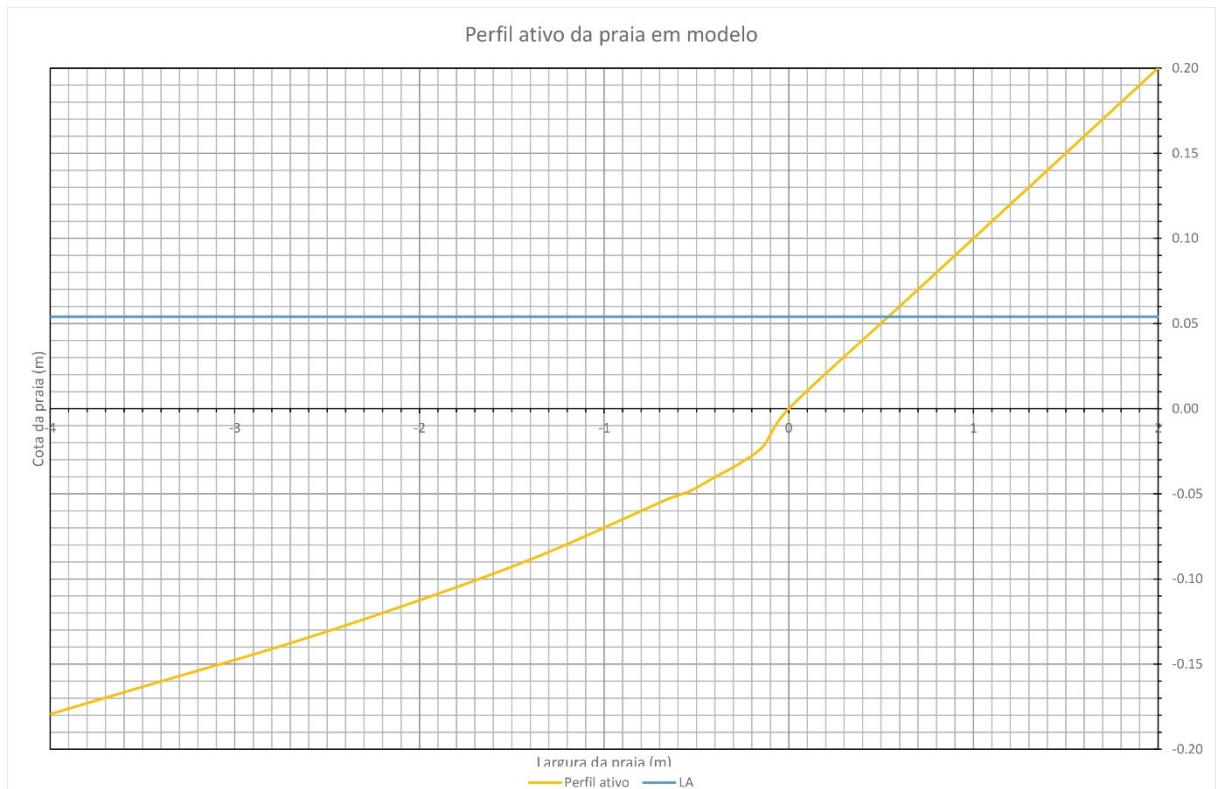


Figura 31 - Perfil ativo da praia em modelo definido por Silva (2010)

3.4.3 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL E HIDRÁULICO DOS MODELOS

3.4.3.1 Quebramar destacado emerso (Série I)

Neste caso foi feita uma análise, relativamente aos quebramares destacados referidos no capítulo 2.4, da razão entre o comprimento do quebramar e da sua distância à costa, para ser perceptível quais são os métodos empíricos que melhor se adequam às condições de agitação da costa portuguesa. Com esta análise concluiu-se que os métodos empíricos a cumprir no dimensionamento seriam os métodos de SPM (1984), Dally and Pope (1986), Suh and Dalrymple (1987), e de Ming and Chiew (2000), Tabela 1.

Portanto, para este quebramar foi arbitrado um comprimento de 290 metros, com base nas dimensões dos quebramares destacados presentes na costa portuguesa. As estruturas de Castelo de Neiva e da Aguda foram implantadas a -2m ZH, porque se tratam de zonas rochosas e as estruturas de betão foram fundadas nessas rochas. Nesta situação, tratar-se-á de estruturas de enrocamento, mas que na verdade deveriam ser blocos de betão, Tabela 19, e que para a sua construção é necessário o transporte dos blocos para o local de implantação da estrutura. Portanto, admitiu-se uma profundidade para a implementação da estrutura a uma profundidade de -4m ZH, à qual será possível efetuar o transporte dos blocos através do mar.

Tabela 19 – Dimensionamento do quebramar destacado emerso em blocos de betão de alta densidade (H=6.24m;T=20s)

Características do quebramar	Protótipo	
	Tronco	Cabeça
Peso de um bloco (W)	9 t	11.3 t
Peso volúmico do enrocamento (γ)	32 kN/m ³	
Diâmetro médio de um bloco (D_{n50})	1.41m	1.52m
Largura do coroamento (B)	4.7m	5m
Espessura do manto exposto (r)	3.11	3.35m
Número de camadas do manto exposto	2	2
Peso de um bloco do manto intermédio	0.9 t	1.13 t
Diâmetro médio de um bloco do manto intermédio (D_{n50})	0.66m	0.71m
Espessura do manto intermédio (r_{int})	1.44m	1.56m
Altura da risberma	2.89m	3.11m
Largura da risberma	4.33m	4.67m
Inclinação do talude	3(H):2(V)	

Como na costa portuguesa a amplitude das marés pode atingir um máximo de 4m, a variação da linha de costa será muito significativa, e portanto fez-se o dimensionamento hidráulico para baixa-mar e para o nível médio. Na Tabela 20 é apresentado o dimensionamento hidráulico para a linha de costa em baixa-mar e para o nível médio.

Tabela 20 – Verificação do dimensionamento hidráulico

	Condição para a formação de um tómbolo	Ls/X do protótipo considerando a linha de costa para o nível da água à cota 0m Z.H.	Ls/X do protótipo considerando a linha de costa para o nível da água à cota +2m Z.H.
SPM (1984)	$\frac{L_s}{X} > 2$		
Gourlay (1981)	$0.67 < \frac{L_s}{X} < 1$ (em pequenas profundidades)		
Ahrens and Cox (1990)	$\frac{L_s}{X} > 2.5$ (Periódico)		
Dally and Pope (1986)	$1.5 < \frac{L_s}{X} < 2$	2	1.61
Suh and Dalrymple (1987)	$\frac{L_s}{X} \geq 1$		
Harris and Herbich (1986)	$1 < \frac{L_s}{X} < 1.5$		
Ming and Chiew (2000)	$\frac{L_s}{X} \geq 1.25$		

Para se poder calcular a relação proposta por Pilarczyk (2003), são necessárias as dimensões da estrutura, sendo assim necessário proceder ao dimensionamento estrutural. Para tal, considerou-se uma altura de onda de 4 metros, embora seja uma situação demasiado branda comparativamente com as tempestades que alcançam a costa portuguesa, mas como esta estrutura vai ser testada para condições de agitação médias, é possível recorrer a blocos de enrocamento invés de blocos de betão, cuja disponibilidade no laboratório seria muito escassa para a construção de um quebramar destas dimensões. Portanto, para o dimensionamento estrutural foram aplicadas as formulações referidas no capítulo 2.1.3.2 e foi ponderado um valor entre os diversos modelos que fosse sensato para as condições para a qual a estrutura estará sujeita. Na Tabela 21 está apresentado o resultado do dimensionamento da estrutura, e a escala para o peso dos blocos é $N_w = 48586$.

Na estrutura em modelo optou-se por manter a inclinação do talude, independentemente da utilização de uma escala distorcida, porque esta distorção levaria a um quebramar com taludes com uma inclinação de 3(H):4(V), esta consideração levará a uma maior influência da estrutura sobre a costa no modelo. Este tipo de inclinação levaria a uma situação instável do quebramar, e seria mais permeável devido às menores dimensões do quebramar, impostas pela inclinação do talude.

Tabela 21 – Características estruturais do quebramar emerso utilizado no modelo

	Protótipo		Modelo	
	Tronco	Cabeça	Tronco	Cabeça
Peso de um bloco (W)	12.06 tf	14.9 tf	248 gf	307 gf
Peso volúmico do enrocamento (γ)	25 kN/m ³		25 kN/m ³	
Diâmetro médio de um bloco (D_{n50})	1.69 m	1.81 m	0.046 m	0.049 m
Largura do coroamento (B)	5.10 m	5.45 m	0.07 m	0.075 m
Espessura do manto exposto (r)	3.38 m	3.63 m	0.09 m	0.10 m
Número de camadas do manto exposto	2	2	2	2
Peso de um bloco do manto intermédio	1.21 tf	1.49 tf	25 gf	31 gf
Diâmetro médio de um bloco do manto intermédio (D_{n50})	0.78 m	0.84 m	0.02 m	0.02 m
Espessura do manto intermédio (r_{int})	1.28 m	1.37 m	0.04 m	0.05 m
Altura da risberma	2.56 m	2.74 m	0.08 m	0.10 m
Largura da risberma	3.84 m	4.11 m	0.06 m	0.075 m
Inclinação do talude	3(H):2(V)		3(H):2(V)	

Para o dimensionamento hidráulico as distâncias definidas cumprem os critérios apontados previamente como os critérios fulcrais a cumprir. De referir que o único método que incorpora o efeito da transmissibilidade por galgamentos e incorpora assim a cota de coroamento, aponta também para que se forme um tómbolo, Tabela 22. Portanto esta estrutura cumprirá os limites impostos pelos métodos do SPM (1984), Dally and Pope (1986), Suh e Dalrymple (1987), Ming e Chiew (2000), e Pilarczyk (2003), cumprindo assim entre quatro a cinco dos oito métodos apresentados em 2.1.3.1, dependendo do nível da maré.

Devido à utilização de uma escala distorcida a largura do coroamento que será utilizada no modelo terá metade do tamanho que teria caso não houvesse distorção da escala, ou seja, os galgamentos serão superiores e as ondas que galgam o quebramar terão mais energia, reduzindo a eficiência da estrutura e implicando uma maior erosão do tómbolo, levando a que as condições para a formação/estabilidade do tómbolo não serão exatamente as calculadas.

Tabela 22 – Dimensionamento hidráulico segundo Pilarczyk (2003)

Baixa-mar	Nível médio	Preia-mar
$1 < \frac{L_s}{X} < 1.5$	$1.18 < \frac{L_s}{X} < 1.77$	$1.61 < \frac{L_s}{X} < 2.42$

Tabela 23 – Dimensões em planta do quebramar destacado emerso para o nível de água à cota 0m ZH

	Protótipo	Modelo
Comprimento da estrutura	290 metros	3.92 metros
Distância à linha de costa	145 metros	1.96 metros
Cota de coroamento	+6 metros ZH	0.162 metros

Na Figura 32, está representado um esquema do ensaio, em que se apresenta a disposição da estrutura bem como o posicionamento da praia, que foi utilizada em todos os ensaios. Como já foi dito previamente, será utilizada a simetria da estrutura e do tómbolo previsto para reduzir o volume de enrocamento e areia necessário para a construção do modelo do quebramar e do tómbolo, respetivamente, e permitir a execução deste modelo com uma escala que permita ter uma resolução razoável. A simetria é desenvolvida em relação à parede do tanque de ondas, tal como assinalado na Figura 32.

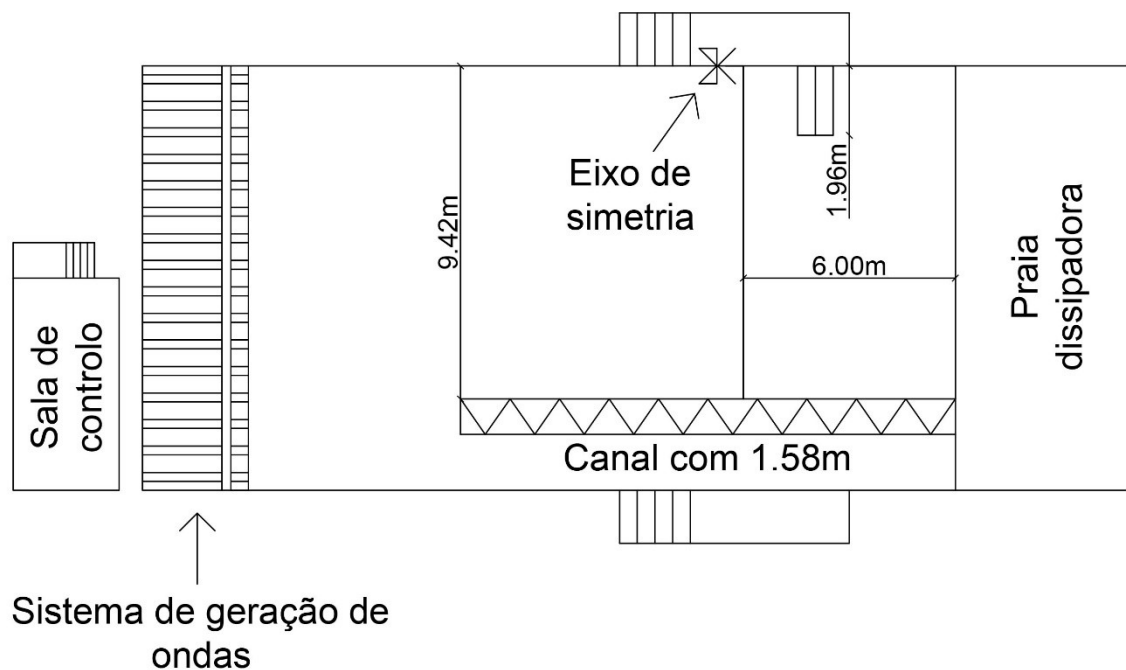


Figura 32 – Esquema da implantação do quebramar no modelo da praia

Esta estrutura foi calculada para favorecer a formação de um tómbolo, e para o cálculo das dimensões do tómbolo foram utilizadas as expressões referidas no capítulo 2.1.5, as dimensões do tómbolo calculadas serão utilizadas para as restantes estruturas, porque para o cálculo das dimensões de um tómbolo apenas existe para quebra-mares emersos. Na Tabela 24, são apresentadas as dimensões previstas para o tómbolo, bem como os parâmetros considerados para o seu cálculo, para os diferentes níveis de água.

Tabela 24 – Dimensões previstas para o tómbolo

	Para nível de água em baixa-mar		Para o nível médio		Para nível de água em preia-mar	
	Protótipo	Modelo	Protótipo	Modelo	Protótipo	Modelo
Área emersa do tómbolo de acordo com Ming and Chiew (2000)	23032.9m ²	4.21m ²	26703.7m ²	4.88m ²	30464.2m ²	5.56m ²
Metade da largura do tómbolo junto ao quebramar, B _k , de acordo com González e Medina (2001)	80m	1.08m	65.25m	0.88m	50.75m	0.69m
Comprimento da linha de costa influenciado pelo quebramar, B ₁	T=8s	834m	11.27m	761m	10.28m	725m
	T=10s	696m	9.4m	653m	8.82m	623.5m
	T=12s	616m	8.32m	580m	7.84m	543.8m
α_{\min}	75.20°		73.40°		71.38°	
B ₁ (calculado através do α_{\min})	694m	9.38m	749m	10.12m	813m	11m
X' (de acordo com Hsu e Silvester)	84.65m	1.14m	110.2m	1.49m	144.7m	1.96

Apesar de apenas se ter optado em utilizar um período de onda de 12 segundos e um único nível de água, nível médio, apresenta-se na Tabela 24 o dimensionamento para vários períodos de onda e para vários níveis de água, para que sejam perceptíveis as variantes, e a sua influência, e o grau de variabilidade patente no dimensionamento de uma estrutura deste tipo. Na Tabela 24 está bem presente a falta de coerência entre os diversos métodos, em que uns, variando o nível da água, apontam para uma distância de influência crescente com o aumento do nível de água (B₁ calculado através do α_{\min}), enquanto no método de González e Medina se prevê precisamente o oposto. Também entre o método de González e Medina, e o método de Hsu e Silvester as previsões são bastante distintas, já que o primeiro prevê a formação de um tómbolo e o segundo a formação de um saliente.

Na construção do modelo, optou-se por utilizar os valores provenientes do método de González e Medina, por ser o método que permite obter mais informação sobre as dimensões do tómbolo. E optou-se por utilizar as dimensões obtidas para o nível de água em baixa-mar, porque é a situação que origina um tómbolo de maiores dimensões de acordo com este método, para se verificar qual a dimensão final do tómbolo e verificar assim a precisão do método.

3.4.3.2 Quebramar destacado submerso (Série II)

Neste modelo consideraram-se as mesmas dimensões, para o comprimento da estrutura e distância à costa, utilizadas no modelo da série I. Isto permitirá efetuar uma comparação com base na cota do coroamento, cujo relevo é amenizado pelos métodos de dimensionamento dos quebramares emersos. Para a cota do coroamento da estrutura submersa ficou definida a cota +2m ao ZH (submerso em Preia mar), à mesma altura do nível médio do mar. Esta estrutura será ensaiada para o nível médio do mar, o que fará com que a estrutura seja muito mais permeável, já que as ondas incidentes não dissipam energia nos blocos mas são forçadas a rebentar num local mais afastado da costa, pré-rebentação. Em suma, este quebramar não será tão eficaz na dissipação da energia das ondas, e consequentemente não será tão eficiente na proteção da costa e nem permitirá condições para o seu funcionamento como porto de pesca.

Devido à grande permeabilidade destas estruturas apenas um método referido no capítulo 2.1.4.1, que é destinado a estruturas em recife, mas considerando a cota do coroamento aliada à grande amplitude da maré esta estrutura submersa para alguns níveis de maré terá um funcionamento semelhante ao de um recife, permite o dimensionamento da estrutura de forma a favoreça a formação de um tómbolo. Esse método é o de Black e Mead (1999) e Andrews (1997), que quando aplicado para uma estrutura implantada à cota -4m ZH prevê a formação de um tómbolo para qualquer nível de maré. O método de Black e Andrews (2001) prevê para esta estrutura que se forme um saliente com a extremidade do mesmo a uma distância de 79m em protótipo, o correspondente a 1.07m em modelo.

Em termos estruturais o quebramar será semelhante à estrutura da série I, mas com dimensões inferiores. Na Tabela 25 estão representadas todas as dimensões necessárias para a construção do quebramar.

Tabela 25 – Características estruturais do quebramar submerso utilizado no modelo

	Protótipo		Modelo	
	Tronco	Cabeça	Tronco	Cabeça
Peso de um bloco (W)	6.52 tf	8.05 tf	134 gf	166 gf
Peso volúmico do enrocamento (γ)	25 kN/m ³		25 kN/m ³	
Diâmetro médio de um bloco (D_{n50})	1.38 m	1.48 m	0.037 m	0.040 m
Largura do coroamento (B)	4.15 m	4.45 m	0.056 m	0.060 m
Espessura do manto exposto (r)	3.38 m	3.63 m	0.07 m	0.08 m
Número de camadas do manto exposto	2	2	2	2
Peso de um bloco do manto intermédio	0.65 tf	0.81 tf	13 gf	17 gf
Diâmetro médio de um bloco do manto intermédio (D_{n50})	0.78 m	0.84 m	0.017 m	0.019 m
Espessura do manto intermédio (r_{int})	1.28 m	1.37 m	0.035 m	0.04 m
Altura da risberma	2.56 m	2.74 m	0.07 m	0.08 m
Largura da risberma	3.84 m	4.11 m	0.05 m	0.06 m
Inclinação do talude	3(H):2(V)		3(H):2(V)	

3.4.3.3 Recife artificial em geossintético

A utilização de um recife artificial tem como objetivo verificar se é possível que a estrutura potencie as condições para a prática de desportos de ondas e ao mesmo tempo fornecer proteção à costa e verificar a capacidade de retenção de sedimentos a sotamar do recife. Apesar de poder parecer um paradoxo falar-se em otimizar a qualidade das ondas para a prática de desportos de ondas e proteger a costa ao mesmo tempo, a presença destas estruturas provocará uma pré-rebentação das ondas o que permitirá dissipar mais energia reduzindo a capacidade das ondas de removerem areia da praia. Na verdade a otimização das ondas para a prática de desportos de ondas consiste em regularizar a rebentação da onda permitindo obter ondas mais tubulares e mais compridas.

A estrutura que será utilizada no modelo foi retirada de Alves (2011), considerada a estrutura que possibilitaria a otimização de ondas para uma maior gama de surfistas e que ainda permite a formação de um canal que facilita a entrada aos surfistas para a zona de surf, Figura 33. A utilização deste recife é motivada pela distorção da escala em que os fenómenos, relativamente à rebentação da onda, reproduzidos em modelo não corresponderiam à realidade, o que não permitiria a análise da vertente relativa à otimização das ondas.

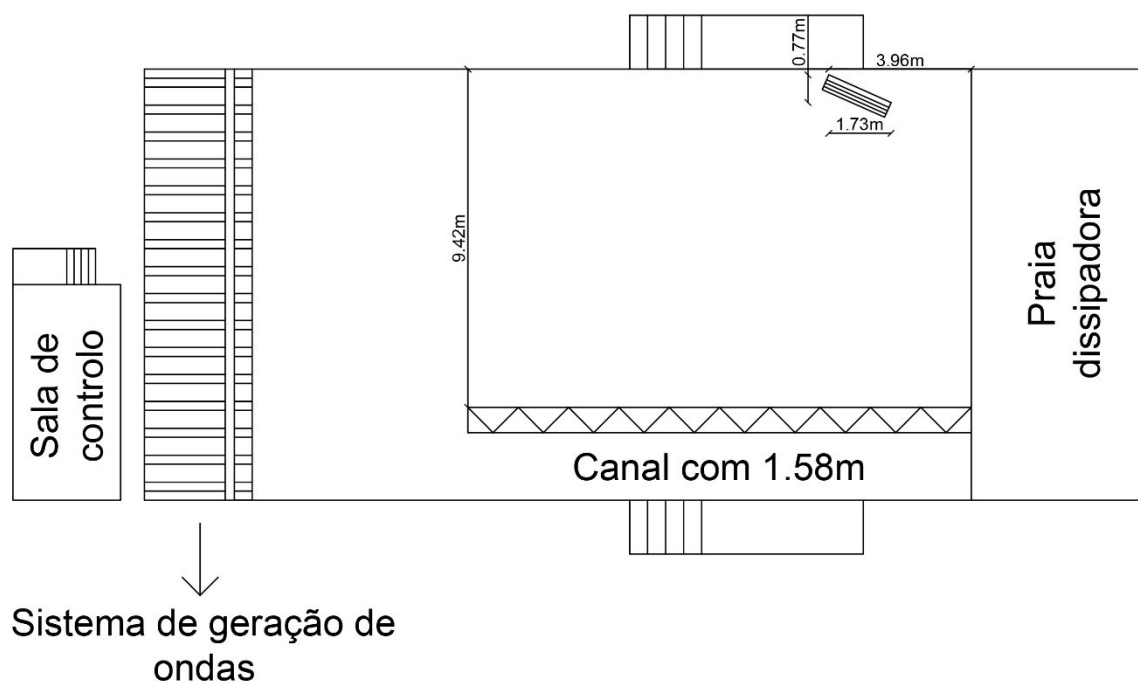


Figura 33 – Esquema em planta da implantação do modelo relativo ao recife artificial

Pretende-se que o recife implantado esteja a uma cota inferior ao nível médio do mar para que permita o seu funcionamento correto e seguro para a prática de desportos de ondas, embora a prática destes desportos sobre recifes seja sempre mais arriscada do que em locais com fundo de areia. Para além disso, a cota do coroamento não poderia estar muito próxima da cota 0m ZH, porque na situação de preia-mar a eficácia da estrutura na dissipação da energia das ondas seria muito inferior e não seria capaz de conceder um grau de proteção da costa adequado.

Utilizando tubos em geossintéticos com 15 cm de diâmetro corresponderia a que a cota do coroamento da estrutura em protótipo estivesse à cota +1.55m ZH.

3.5 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios são apresentados nas fichas resumo, presentes no anexo, onde se pode encontrar toda a informação relativa ao ensaio, como as condições de agitação pretendidas e as obtidas, duração do ensaio, observações sobre o ensaio, sequências fotográficas do ensaio, fotografias de pormenores, os perfis transversais obtidos e assim como os modelos em 3D. Os modelos 3D têm descontinuidades porque são constituídos através dos vários perfis transversais retirados, e a cabeça do quebramar aparece como sendo retilínea, mas na verdade seria arredondada e teria de ser mais baixa do que as restantes, porque nessa secção já seria o talude da cabeça do quebramar. Por razões de estética, e como não se conseguiu modelar a cabeça da estrutura, optou-se por nivelar essa secção com as restantes. Mesmo tendo estes modelos em 3D descontinuidades é possível ter uma ideia do perfil longitudinal ao longo das secções representadas.

Neste capítulo analisou-se os resultados através dos perfis transversais a 0.5m, 1m, 2m, 3m e a 4m do eixo de simetria, e estes perfis denominar-se-ão como PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5. Alguns dos perfis poderão conter alguns erros de medição devido à medição ter sido feita manualmente com uma régua a partir de uma barra que servia como referência. E a apresentação dos resultados será feita não pela ordem dos ensaios realizados mas sim pelas séries.

Com o desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais houve a necessidade de alterar o plano de ensaios definido na Tabela 15, cujas alterações estão representadas na Figura 34, assim como a ordem de execução dos ensaios.

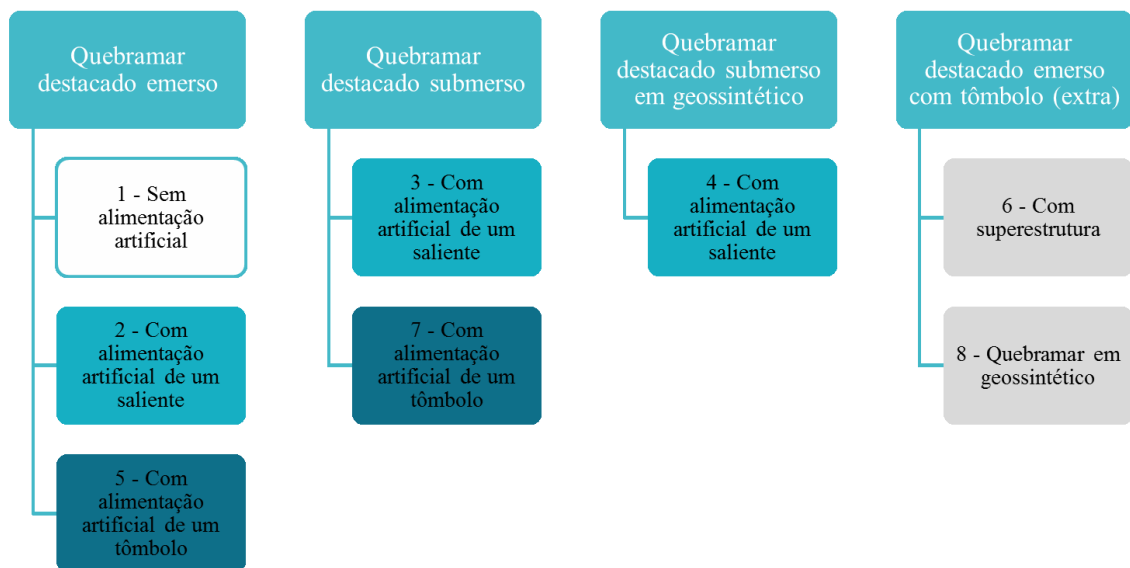


Figura 34 – Organograma dos ensaios realizados

3.5.1 SÉRIE I – SAA

Este ensaio teve como objetivo mostrar que um quebramar destacado emerso, cujo dimensionamento hidráulico favorece a formação de um tómbolo, sem caudal de sedimentos afluente não originará um tómbolo.

Realizou-se um ensaio com a duração de 30 minutos, com o objetivo de calibrar o sistema de geração de ondas para se obter um fator de ganho que permita gerar uma ondulação com a altura de onda

pretendida. Obteve-se assim um fator de ganho de 1.21, e após a realização de mais 30 minutos com o fator de ganho verificou-se que mesmo assim a altura de onda obtida não era a pretendida e que o período da onda permaneceu constante quer com o fator de ganho ou não, e com um valor inferior ao pretendido. Com estas condições de agitação as alterações no modelo estavam a ser muito morosas, então optou-se por aumentar a altura de onda para 8cm, que corresponde a uma onda de 3m, um cenário bastante característico na costa portuguesa, para catalisar as alterações no modelo. Apesar do aumento da altura de onda com o fator de ganho de 1.21, o período de onda manteve-se constante e a altura de onda significativa reproduzida foi de 2.5m. Com isto, pode-se concluir que o sistema de geração de ondas poderá não estar a funcionar devidamente. Para os restantes ensaios a altura de onda requerida ao sistema de geração de ondas foi de 8cm.

Este ensaio teve a duração de duas horas, e pode ser dividido em duas partes, a primeira com uma hora e a segunda com uma duração de duas horas. No final da primeira parte deste ensaio foi possível observar um assentamento de 4cm da cota de coroamento do quebramar, o que corresponde a 1.5m em protótipo, devido ao núcleo, constituído por areia, que foi arrastado pelas ondas que galgavam o quebramar sucessivamente para a risberma interior. Após uma hora de ensaio é possível verificar que junto ao eixo de simetria do modelo, acumulou-se alguma areia, Figura 35, e as rugas eram evidentes em toda a praia, exceto na área junto à berma interior do quebramar, assim como as rugas provocadas pela difração das ondas na cabeça do quebramar.

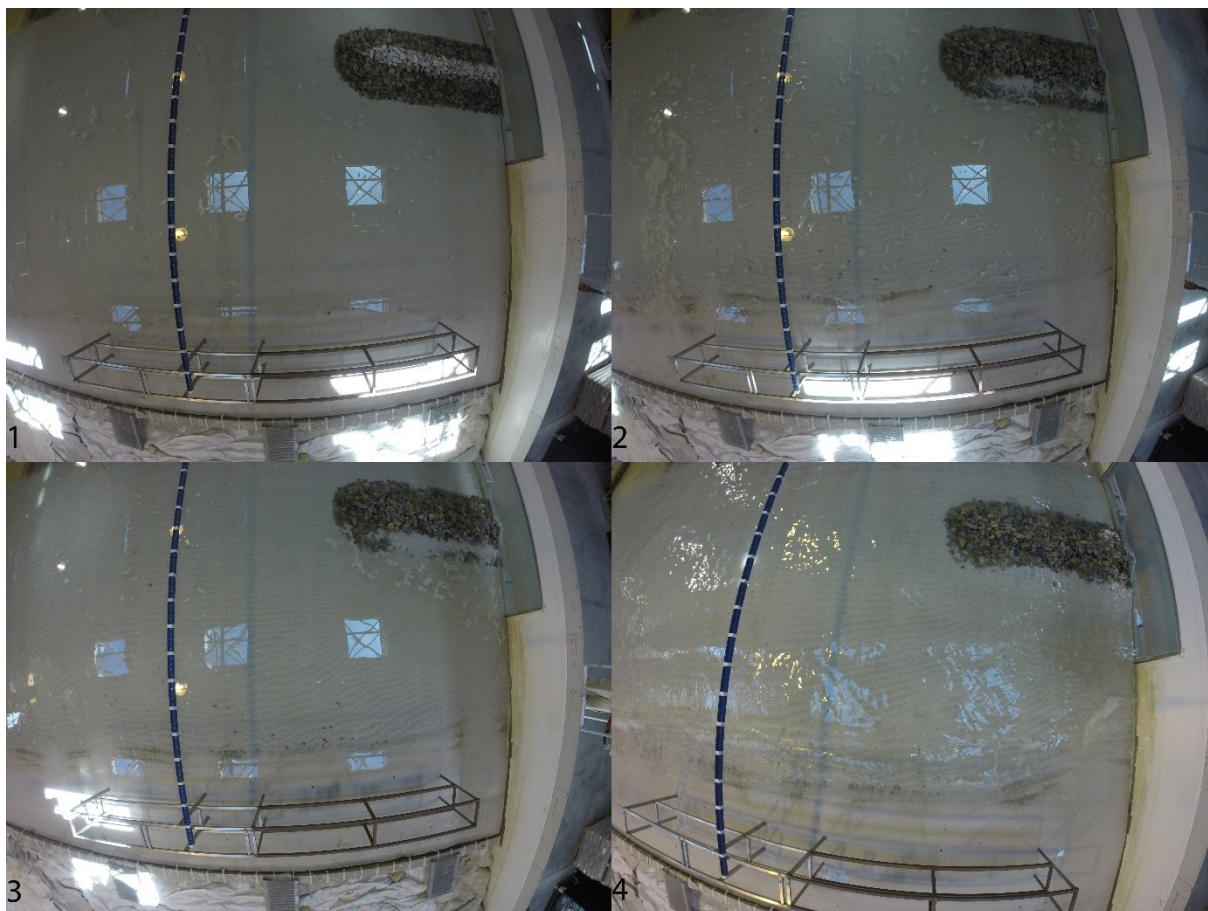


Figura 35 – Sequência do ensaio nº 1 ($T_1=0$; $T_2=30\text{min}$; $T_3=1\text{h}$; $T_4=3\text{h}$)

Para a segunda parte do ensaio, mesmo tendo aumentado a altura de onda optou-se por fazer mais duas horas de ensaio, o que se verificou ser excessivo já que as alterações mais significativas ocorreram nos primeiros 30 minutos, em que era possível verificar a formação de um pequeno saliente. Esta formação de um pequeno saliente surge mesmo não havendo caudal de sedimentos afluente, devido ao perfil ativo não ter sido respeitado em toda a extensão do modelo, e devido aos efeitos de escala o perfil ativo poderá sofrer algumas alterações.

As alterações mais significativas observadas foram nos perfis PT1 e PT2, nas Figuras 36 e 37, respetivamente, onde é possível observar uma acumulação de areia significativa, bem como o assentamento do coroamento quebramar. Nestes dois perfis é possível observar um ganho de altura da plataforma da praia bastante grande, em que no primeiro houve um aumento de 8.5cm, 3.15m em protótipo, e no segundo houve um aumento de 4.5cm, 1.67m em protótipo.

No perfil PT1 houve uma acumulação ao longo de todo o perfil, entre o primeiro ponto medido e o quebramar, em que a acumulação mínima de areia é de 0.5m. E para além do aumento da altura da plataforma da praia, houve um avanço da mesma, cerca de 0.5m em modelo e 37m em protótipo, o valor retirado do modelo foi corrigido através da análise de fotografias, porque poderá existir um erro devido à deslocação da estrutura utilizada na medição para que se pudesse medir o PT1, e como o modelo foi construído por cima da praia dissipadora não foi possível colocar essa estrutura da mesma forma que a inicial. Com esta alteração da estrutura utilizada para a medição, apenas o PT1 final sofreu com esta alteração, onde se tentou mitigar os erros que advêm desta alteração através de marcações na parede. Neste perfil junto ao quebramar é possível observar uma acumulação de areia, que é na verdade o núcleo constituído por areia, e que foi arrastada do interior da estrutura para a berma interior devido aos sucessivos galgamentos.

No perfil PT2 não se verifica uma acumulação de areia tao significativa como no perfil PT1, e numa dada secção, devido à subida e avanço da plataforma da praia e devido à falta de sedimentos afluentes, a berma ficou com um inclinação superior provocando erosão.



Figura 36 – PT1

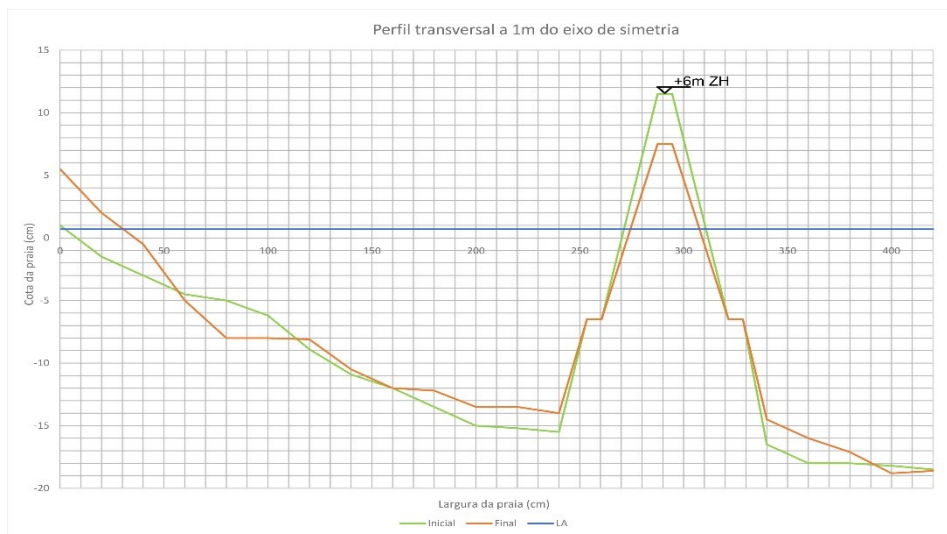


Figura 37 – PT2

Concluído o ensaio é possível observar que as rugas provocadas pelas ondas de difração abrangem uma extensão maior do modelo do que no final da primeira hora de ensaio, até 1m de distância da cabeça do quebramar, Figura 38, e as alterações mais evidentes na linha de costa verificaram-se até ao perfil PT3. A altura de onda poderá definir a influência da estrutura na costa, já que para uma ondulação com altura de onda significativa superior impôs rugas de difração até uma extensão da costa superior. Não se fez esta análise através das alterações provocadas na linha de costa, porque estas alterações podem advir do tempo de ensaio.

Com este ensaio conclui-se que mesmo que um quebramar proporcione condições favoráveis à formação de um tômbolo, sem afluência de sedimentos ao local, ou com uma afluência muito reduzida, o mesmo não se formará ou poderá levar muitos anos até à sua formação.

Mediante os resultados pouco expressivos para uma estrutura emerso, considerou-se que para as restantes estruturas, que são menos eficientes do que esta, os resultados seriam ainda menos expressivos e sem particular interesse para este estudo. Portanto, as combinações das séries II e III SAA foram eliminadas do estudo em modelo físico.



Figura 38 – Rugas de difração após a conclusão do ensaio

3.5.2 SÉRIE I – AAS

Esta combinação é composta pelos ensaios nº 2 e 3, descritos no anexo. O ensaio nº 2 serviu como teste para se obter a configuração de um saliente que fosse compatível com o quebramar. Considerou-se um saliente até à posição -1m do perfil ativo, que seria um pouco mais de metade da distância desde a linha de água até ao quebramar. Quanto à extensão da alimentação do saliente, foi feita uma alimentação até ao perfil PT3, e a partir desse ponto a alimentação foi feita de forma linear até à extremidade do saliente, Figura 39 em T₁. O volume necessário para a construção deste saliente foi de 0.24m³, que corresponde a um volume em protótipo de 48,627m³ de areia.

No final do ensaio nº 2, a extremidade do saliente recuou até à posição -0.15m, ou seja recuou 85cm, 62.9m em protótipo. A berma submersa, na extremidade avançou cerca de 17cm, 12.6m em protótipo, o que significa que o facto de não se ter feito uma alimentação mais volumosa nas zonas submersas contribuiu para que existisse uma instabilidade ao longo de todo o saliente, Figura 39 em T₄.

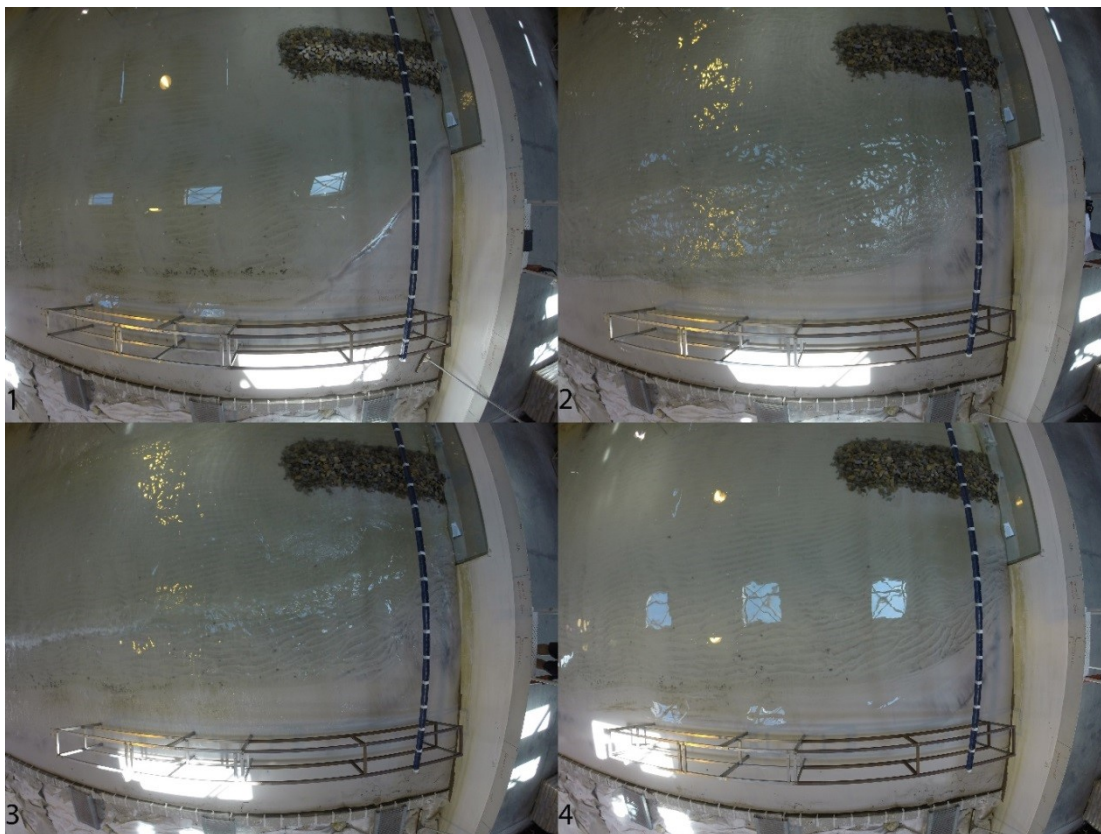


Figura 39 – Sequência do ensaio nº 2 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

Analisando os perfis PT1 e PT2, Figuras 40 e 41, é perceptível que um saliente com o comprimento desejado exige que a plataforma do saliente esteja a uma cota superior e as bermas submersas deverão ser mais extensas e com um declive menos acentuado. Analisando o PT3, Figura 42, é notável que esta secção tinha um défice de volume, já que parte do volume das secções anteriores foi transportado para esta secção.

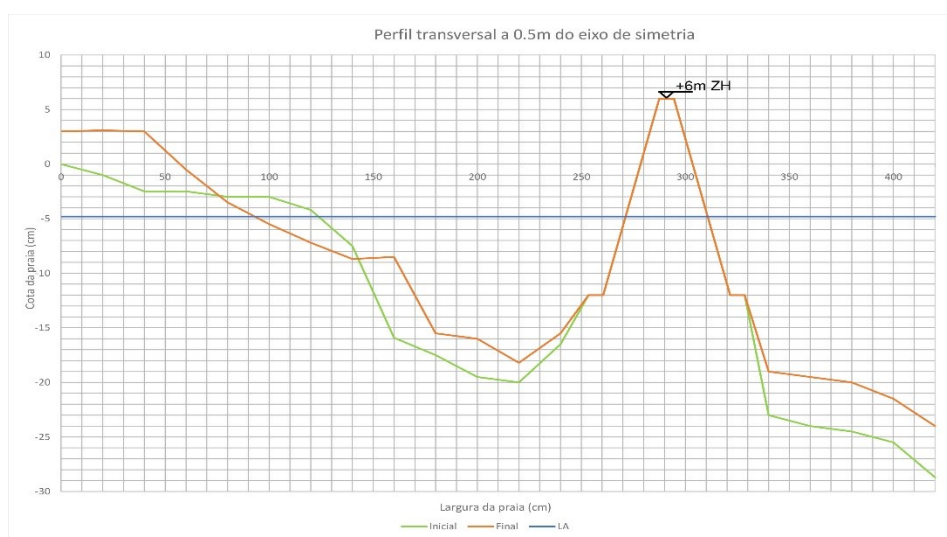


Figura 40 – PT1

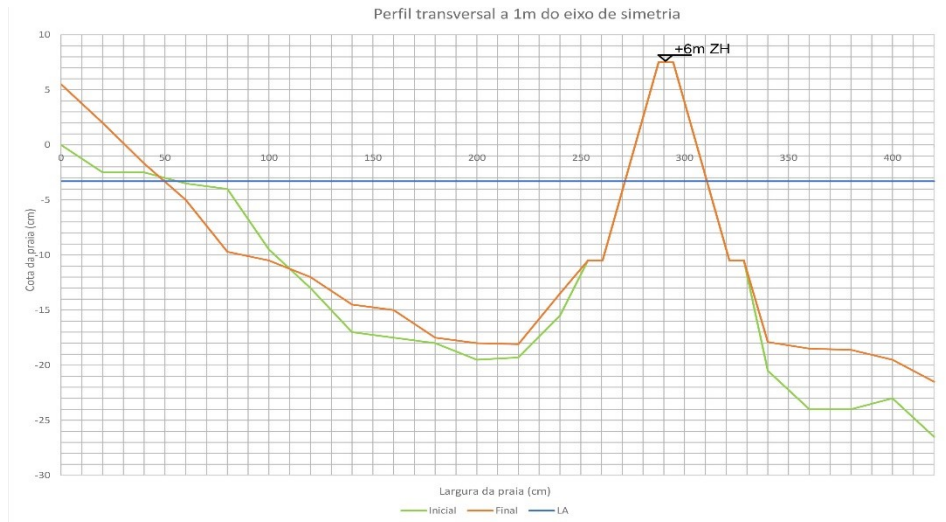


Figura 41 – PT2

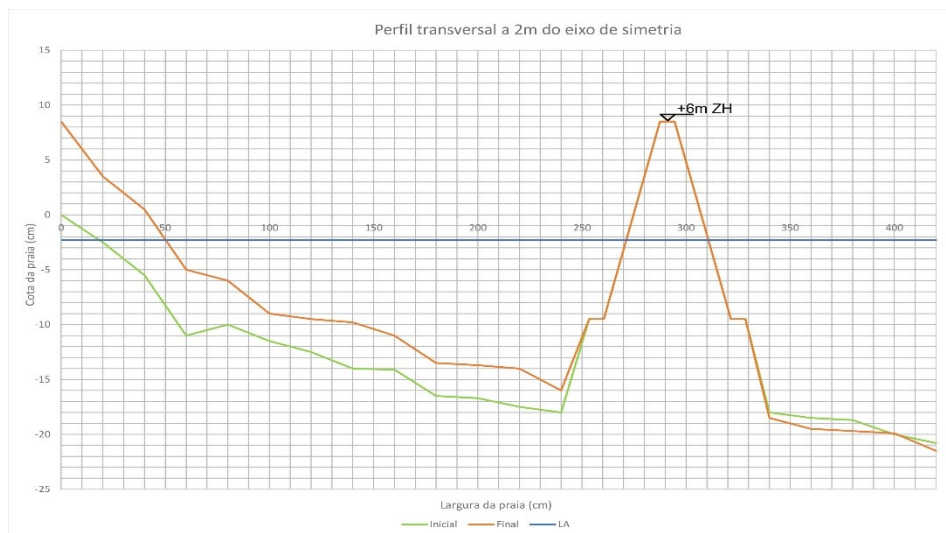


Figura 42 – PT3

No ensaio nº 3 foi utilizado um volume de 0.35m^3 , $70,914\text{m}^3$ em protótipo, para a construção do novo saliente, cuja extremidade se encontra na posição -1m, e a área adjacente recebeu um volume bastante superior ao adicionado no ensaio anterior, tendo sido feita uma alimentação até ao perfil PT5, mas quanto mais afastada a secção do eixo de simetria, menor o volume aplicado nessa mesma secção. Nesta alimentação tentou reproduzir-se uma morfologia parabólica reproduzida no final do ensaio anterior, mas com dimensões superiores. Neste ensaio espera-se que as alterações no saliente sejam pequenas, porque a reprodução do saliente não será precisamente igual ao saliente imposto pelo quebramar. Caso houvesse um caudal de sedimentos afluente, este saliente teria tendência a aumentar até se formar um tômbolo, em que a alimentação artificial de um saliente seria uma alternativa mais económica para catalisar o processo de formação de um tômbolo.

No final do ensaio foi possível constatar que um saliente de maiores dimensões, maior área de praia seca e com taludes menos inclinados, permitiu a dissipação das ondas difratadas e das ondas que galgavam o quebramar com uma maior eficiência e menor perda de sedimentos. O saliente que inicialmente tinha

uma aparência bastante uniforme, mas durante o ensaio foi sendo alterado até ficar definida uma forma parabólica no saliente, e aparenta ter sido formada uma plataforma mais elevada no saliente, como se pode verificar na Figura 43, através das manchas a negro que vão aparecendo com as ondas que se espriam na praia. A extremidade do saliente recuou cerca de 47cm para a posição -0.53m.

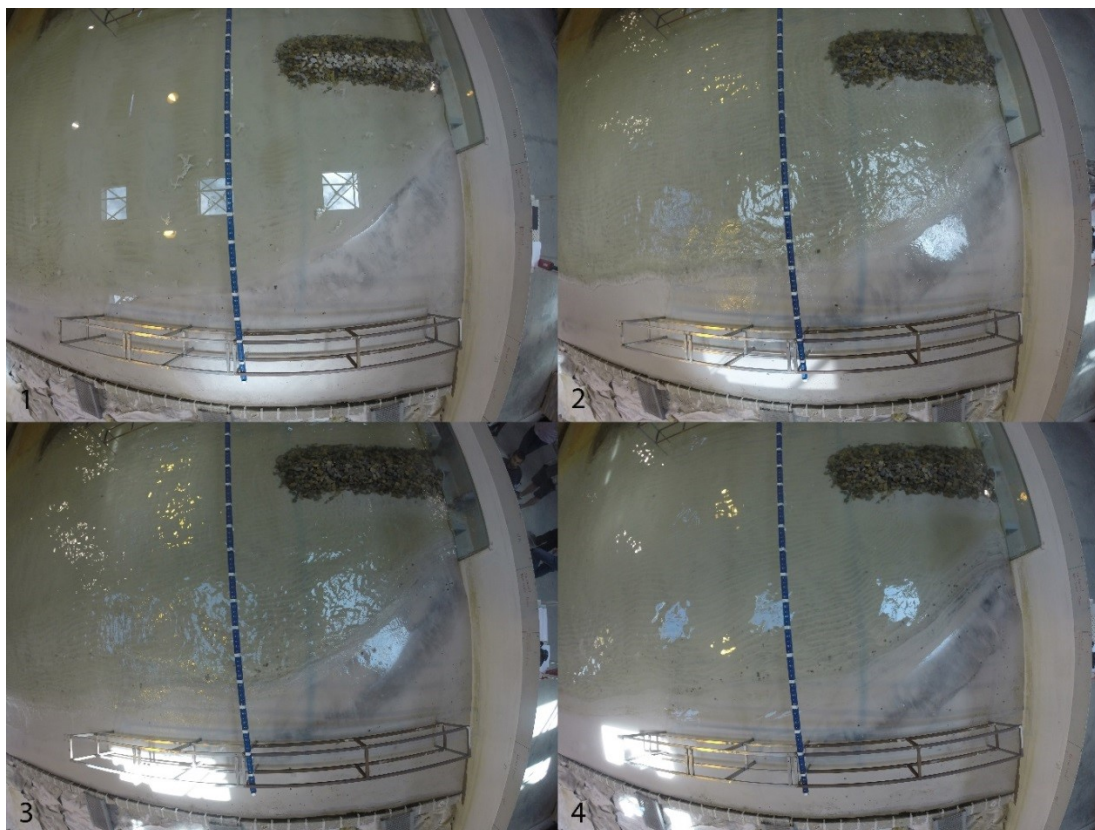


Figura 43 – Sequência do ensaio nº 3 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

As alterações mais evidentes e interessantes neste ensaio ocorreram nos perfis PT1 e PT2, Figuras 44 e 45, respetivamente. É possível observar um aumento da altura da plataforma da praia e alguma erosão na berma da praia. As bermas da praia nestes perfis sofreram alterações significativas, em que a berma foi erodida e a plataforma da praia aumentou de altura, originando em ambos os perfis bermas com inclinações mais acentuadas. Apesar destas alterações a areia não aparenta ter sido removida da zona interior ao quebramar, mas sim distribuída por esta área de acordo com as correntes de difração geradas na cabeça do quebramar. Para além das alterações nos perfis mais próximos da costa, foi possível ver efeitos da estrutura na linha de costa entre 5 a 6m do eixo de simetria.

Sumarizando, o saliente reproduzido neste modelo necessitou num total de $0.59m^3$ de areia, um total de $119,541m^3$ de areia em protótipo, e demonstrou ser estável e eficiente na dissipação da energia das ondas em conjunto com o quebramar, o que demonstra ser uma boa solução de proteção costeira. Como já foi dito em ensaios anteriores, com a afluência de sedimentos à costa este saliente teria tendência a aumentar quer em comprimento quer em largura, até alcançar o quebramar, e formar assim um tómbolo. E a alimentação artificial visaria encurtar o tempo de formação do tómbolo e mitigar os efeitos que as praias a sotamar sofreriam pela redução da disponibilidade de sedimentos.

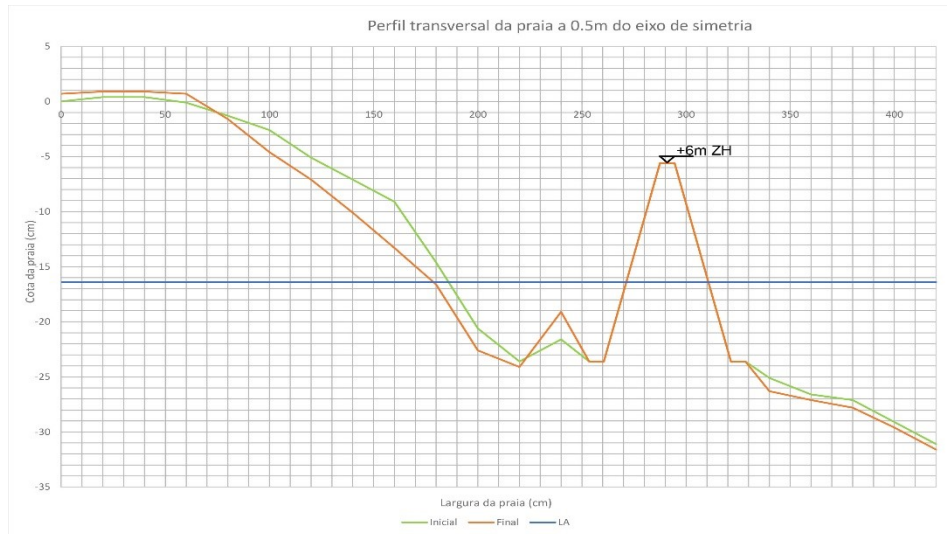


Figura 44 – PT1



Figura 45 – PT2

3.5.3 SÉRIE I – AAT

Este ensaio teve como objetivo avaliar a estabilidade de um tômbolo na presença de um quebramar destacado que favoreça a sua formação. Este modelo foi construído após os ensaios nº 4 e 5, em que a linha de costa recuou abruptamente, e para a construção deste tômbolo foram necessários 1.3m^3 de areia, o que corresponde a um volume de $263,396\text{m}^3$ de areia em protótipo, para a construção de um tômbolo com as dimensões definidas no capítulo 3.4.3.1, para a situação de baixa-mar. Esta situação seria a que gera um tômbolo de maiores dimensões, e caso não esteja em equilíbrio por excesso o quebramar deverá impor a largura adequada. Relativamente à área de influência, fez-se a alimentação até a uma extensão de 7m a partir do eixo de simetria, embora quanto mais longe da costa menor o volume aplicado nessa secção. Portanto, para se controlar a variação do tômbolo mediu-se longitudinalmente o tômbolo nas secções a -2m, -1m e 0m do perfil ativo, Tabela 26.

Perante as dimensões deste tômbolo espera-se que o mesmo se mantenha estável, ou seja, que no final o tômbolo se mantenha, mas de acordo com o método de González e Medina o tômbolo deverá

emagrecer até uma largura de 0.88m. Embora, este emagrecimento possa ser agravado pela distorção da escala que reduziu bastante a largura de coroamento, permitindo que as ondas galguem o quebramar com maior facilidade, sendo a restante energia da onda dissipada no tómbolo, o que poderá causar alguma erosão no tómbolo junto ao quebramar.

Tabela 26 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	2.16m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.22m
Largura do tómbolo na posição -2m	1.08m

Durante o ensaio as alterações mais significativas no modelo ocorreram nos primeiros 15 a 20min do ensaio, em que se formou uma fossa de erosão devido aos sucessivos galgamentos permitidos pela estrutura e alguma parte dessa areia foi arrastada para colmatar os vazios existentes no manto exposto interior do quebramar. Estes vazios existem porque a areia colocada estava ainda húmida, ganhando alguma coesão, de utilizações prévias, e a sua deposição não foi suficiente para que esta colmatasse esses vazios.

As ondas que galgavam o quebramar dissipavam-se completamente na zona onde se formou a fossa de erosão, não havendo assim qualquer interferência destas ondas com as ondas difratadas na cabeça do quebramar, tornando as ondas difratadas mais evidentes neste ensaio.

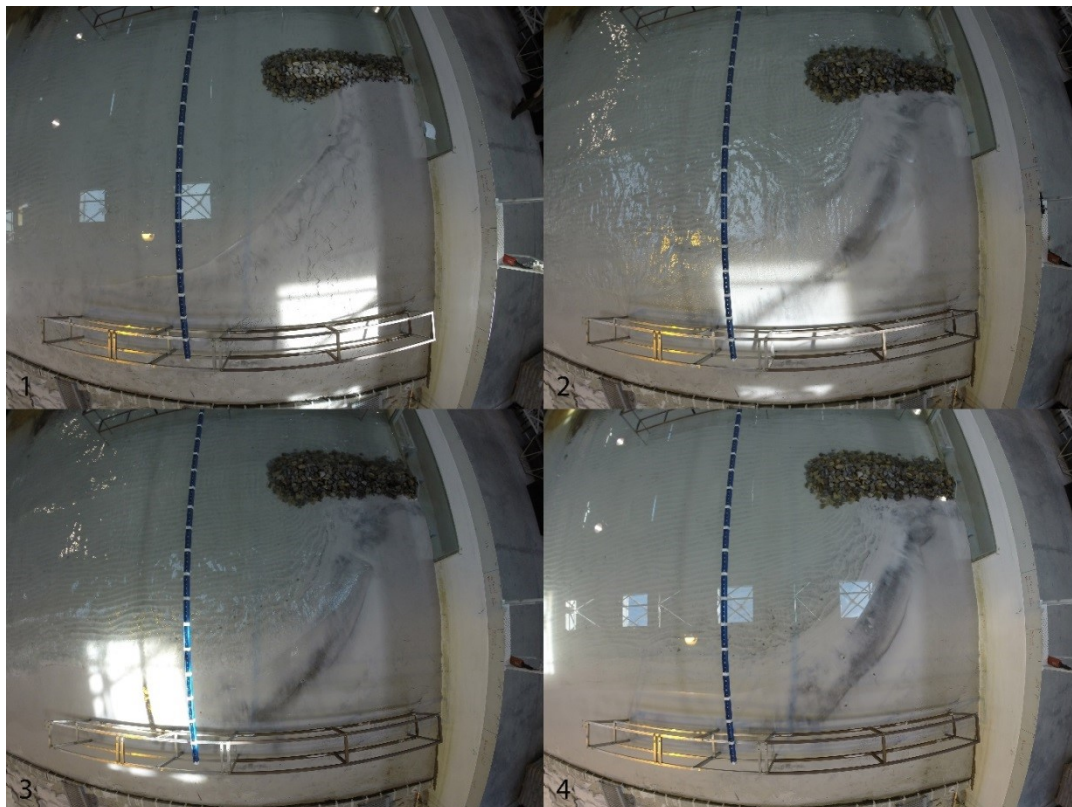


Figura 46 – Sequência do ensaio nº 6 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

No final do ensaio é possível verificar a formação de uma plataforma que se torna bastante evidente devido à faixa a negro, que se observa na Figura 46 para T_4 , que a delimita. Também a área do tómbolo é inferior à inicial, porque o tómbolo construído não seria exatamente igual ao tómbolo que seria gerado por esta estrutura, e durante o ensaio as ondas difratadas na cabeça da estrutura foram moldando o tómbolo até que atingisse uma configuração de equilíbrio. As dimensões finais do tómbolo são apresentadas na Tabela 27, e a largura final do tómbolo junto ao quebramar é inferior à prevista pelo método de González e Medina, para o nível médio do mar, ficando esta largura entre a prevista para o nível médio do mar e para a largura prevista para preia-mar, capítulo 3.4.3.1 na Tabela 24. Na Tabela 24 também se pode constatar que o método de Hsu e Silvester previa a formação de um saliente e não um tómbolo para esta estrutura.

Tabela 27 – Dimensões do tómbolo reproduzido em modelo no final do ensaio

Largura do tómbolo na posição 0m	1.80m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.10m
Largura do tómbolo na posição -2m	0.77m

Pelo que se observou durante o ensaio, a estrutura demonstrou-se muito eficiente na dissipação da energia das ondas em conjunto com o tómbolo, caso a zona de costa a proteger se localizasse atrás do quebramar, as ondas que se espriam no tómbolo ficariam muito longe de atingir essa zona.

Analizando os perfis que representam o tómbolo, perfis PT1 e PT2, Figuras 47 e 48, respetivamente, constata-se que as alterações no mesmo foram muito pequenas, em que a única alteração mais significativa observada em ambos os perfis é a fossa de erosão, Figura 49. Esta fossa, no perfil PT1, provocou uma variação máxima de 8cm, que corresponde a uma variação de 3m no protótipo. A altura da plataforma do tómbolo em ambos os perfis manteve-se estável, tendo aumentado um pouco no perfil PT2.

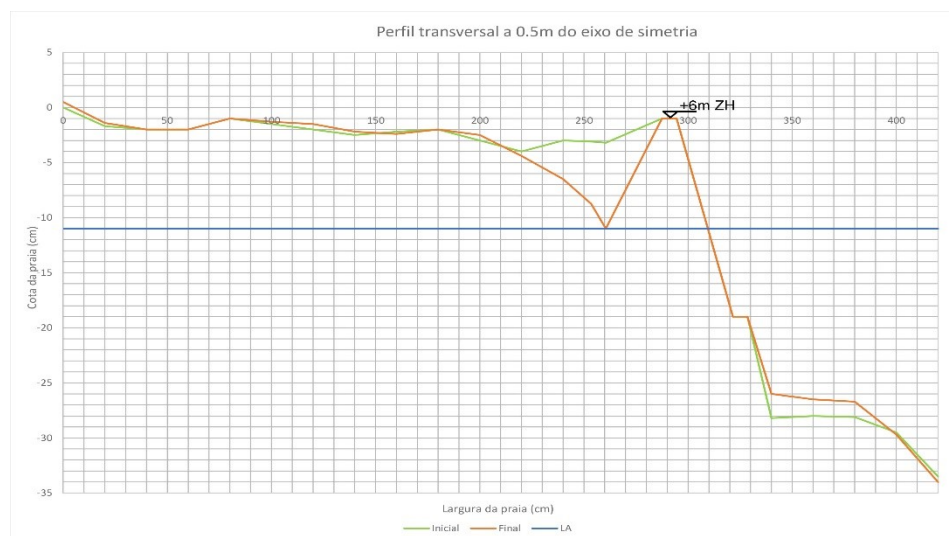


Figura 47 – PT1

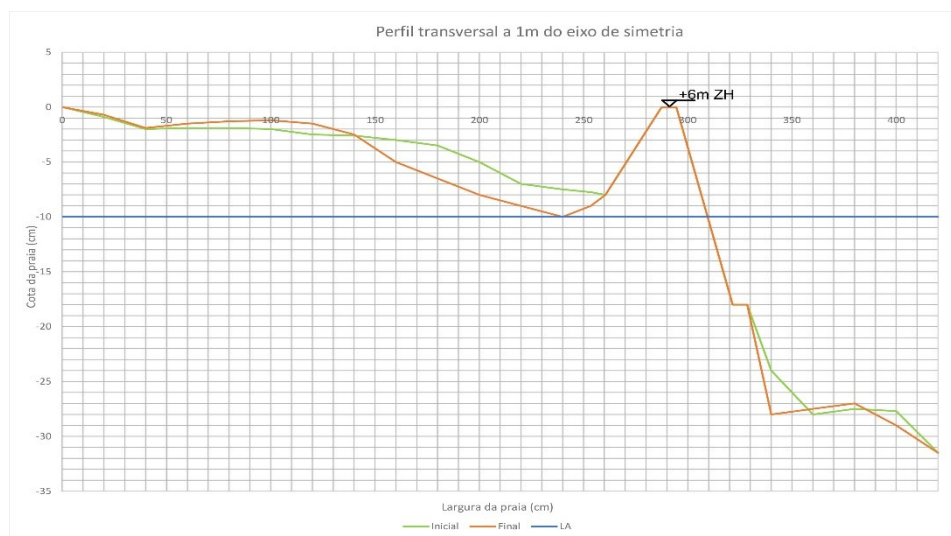


Figura 48 – PT2



Figura 49 – Estrutura e tómbolo no final do ensaio (a linha representa o perfil inicial)

3.5.4 SÉRIE I COM SUPERESTRUTURA – AAT

Este ensaio é um ensaio extra, em que se considera a estrutura da série I, mas com uma superestrutura. A superestrutura será constituída por três modelos de superestruturas utilizadas no modelo do porto de Leixões, um com 0.75m de comprimento e os outros dois com 0.5m de comprimento, o que deixará uma porção do quebramar sem superestrutura, nomeadamente a cabeça do quebramar. A colocação desta superestrutura sobe a cota do coroamento da estrutura para +7.5m ZH, Figura 50, o que conferirá uma maior proteção do tómbolo devido à redução dos galgamentos provocada pela cota de coroamento superior e pelo muro defletor.

Foi acrescentada alguma areia, um volume de 0.07m^3 , que corresponde a $14,183\text{m}^3$ em protótipo, ao modelo para repor a largura do tómbolo junto ao quebramar, Tabela 28.

Tabela 28 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	1.83m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.29m
Largura do tómbolo na posição -2m	1.06m



Figura 50 – Perfil transversal da estrutura com superestrutura à cota +7.5m Z.H.

Surgiram alguns erros na colocação da superestrutura, nomeadamente a passagem de água entre o vidro, onde se colocou areia para mitigar a passagem de areia nesta secção, e a superestrutura e entre as superestruturas não foi colocado nada para impedir a passagem de água, provocando alguma erosão nesses locais, Figura 51.



Figura 51 – Erosão devido à passagem de água nas juntas da superestrutura

A utilização das superestruturas reduziu significativamente a permeabilidade do quebramar, quer aos galgamentos quer pela estrutura. Algumas das ondas que rebentavam no muro refletor eram refletidas quase na totalidade. Com o decorrer do ensaio a superestrutura mais perto da cabeça do quebramar, foi deslocando-se à medida que as ondas maiores rebentavam sobre o mesmo, não colapsou mas o funcionamento hidráulico de todo o quebramar foi severamente afetado. Na Figura 52 é possível

observar o deslocamento da superestrutura ao longo de todo ensaio. A partir do momento em que a superestrutura ficou muito deslocada, como na Figura 52 para T_3 e T_4 , as ondas que rebentavam sobre essa superestrutura eram refletidas para o interior da estrutura provocando erosão do tómbolo junto ao quebramar e essa areia foi arrastada para junto da cabeça do quebramar e que devido às correntes de difração, geradas na cabeça do quebramar, se acumulou atrás da superestrutura deslocada, Figura 53.

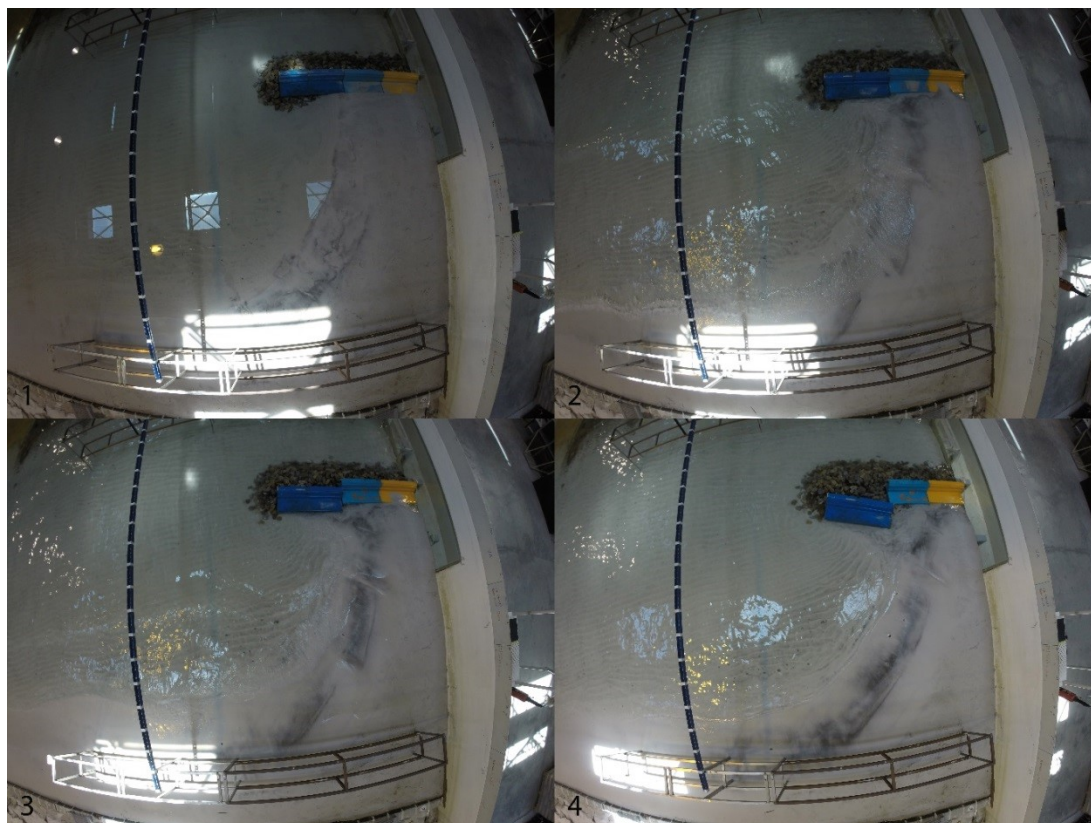


Figura 52 – Sequência do ensaio nº 7 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)



Figura 53 – Pormenor das erosões locais devido às juntas e devido ao deslocamento da superestrutura

Enquanto a superestrutura se manteve estável a estrutura apresentou um desempenho mais eficiente do que o quebramar sem a superestrutura. Após o deslocamento da superestrutura as ondas refletidas para o interior da estrutura aumentaram a erosão do tómbolo junto ao quebramar, impossibilitando assim a comparação de valores entre soluções, ainda assim, na Tabela 29 apresentam-se os valores obtidos. Junto ao quebramar o tómbolo registado no final do ensaio é 11cm mais pequeno do que na série I – AAT.

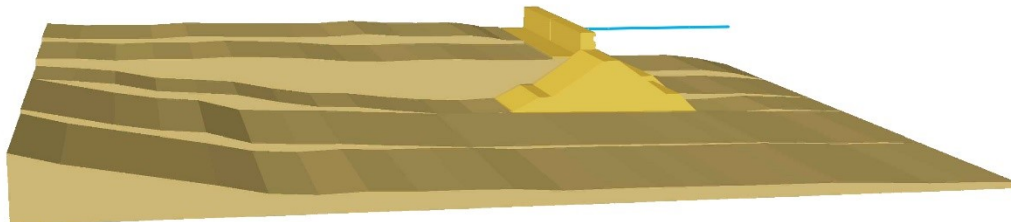
Tabela 29 – Dimensões finais do tómbolo reproduzido em modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	1.55m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.03m
Largura do tómbolo na posição -2m	0.66m

Para que a superestrutura não ficasse instável deveria ter sido feito um prisma de fundação com pedras mais pequenas para que pudesse estar melhor assente e gerar mais atrito entre a superestrutura e as pedras, e as juntas entre as superestruturas deveriam ter sido seladas, com silicone por exemplo para que as superestruturas funcionassem em conjunto e para impedir a passagem de água entre as juntas.

As alterações mais significativas observadas nos perfis foram nos perfis PT1 e PT2, onde se formou uma fossa de erosão. Na Figura 54, é apresentado o modelo em 3D dos perfis transversais medidos, em que é possível observar a fossa de erosão que se formou no tómbolo junto ao quebramar.

Perfis iniciais



Perfis finais

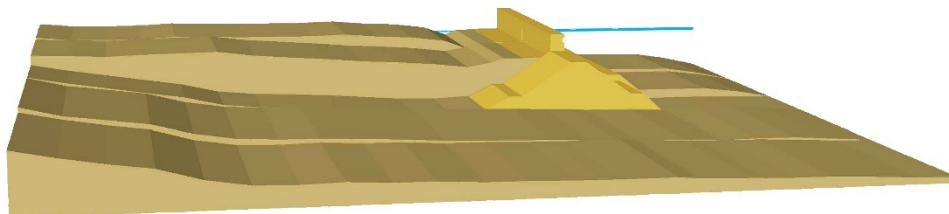


Figura 54 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5

3.5.5 SÉRIE II – AAS

Este ensaio foi o primeiro com um quebramar destacado submerso, em que o saliente utilizado neste modelo foi o saliente em equilíbrio do ensaio da série I – AAS, após o ensaio nº 3. Ao realizar-se o ensaio com esse saliente e uma estrutura submersa, esse saliente já não estará em equilíbrio e avaliar-se-á as alterações que o quebramar submerso permitirá, já que é menos eficiente do que um quebramar destacado emerso. Esperando-se então que o saliente, que se encontra na posição -0.53m , Figura 55 para T_1 , sofra erosão e recue.

Após a formação das rugas, durante o ensaio, verificou-se que a sotamar do quebramar houve formação de rugas, o que não aconteceu com a estrutura da série I. Isto demonstra que a eficiência desta estrutura na dissipação de energia é inferior à da estrutura da série I. Face aos galgamentos sobre a estrutura não perderem tanta energia, essas ondas interferem com as ondas difratadas na cabeça do quebramar. Porém, a influência das ondas difratadas na praia são evidenciadas pelas rugas produzidas no fundo, mas com uma extensão reduzida comparando com os ensaios da série I.

Após 30 minutos de ensaio verificou-se que o saliente recuou cerca de 0.5m e após 1h de ensaio recuou para a posição $+0.13\text{m}$ e a plataforma da praia para a posição $+0.51\text{m}$, Figura 55 para T_2 .

Concluída a hora de ensaio, verificou-se que a praia não se encontrava numa situação de equilíbrio. Então foi necessário realizar mais 30 minutos de ensaio, que provocaram mais erosão no saliente, recuando o extremo do saliente e da plataforma do saliente para as posições $+0.29\text{m}$ e $+0.64\text{m}$, respetivamente, e uma redução da extensão de influência na linha de costa que aparentava ser até 3m do eixo de simetria.

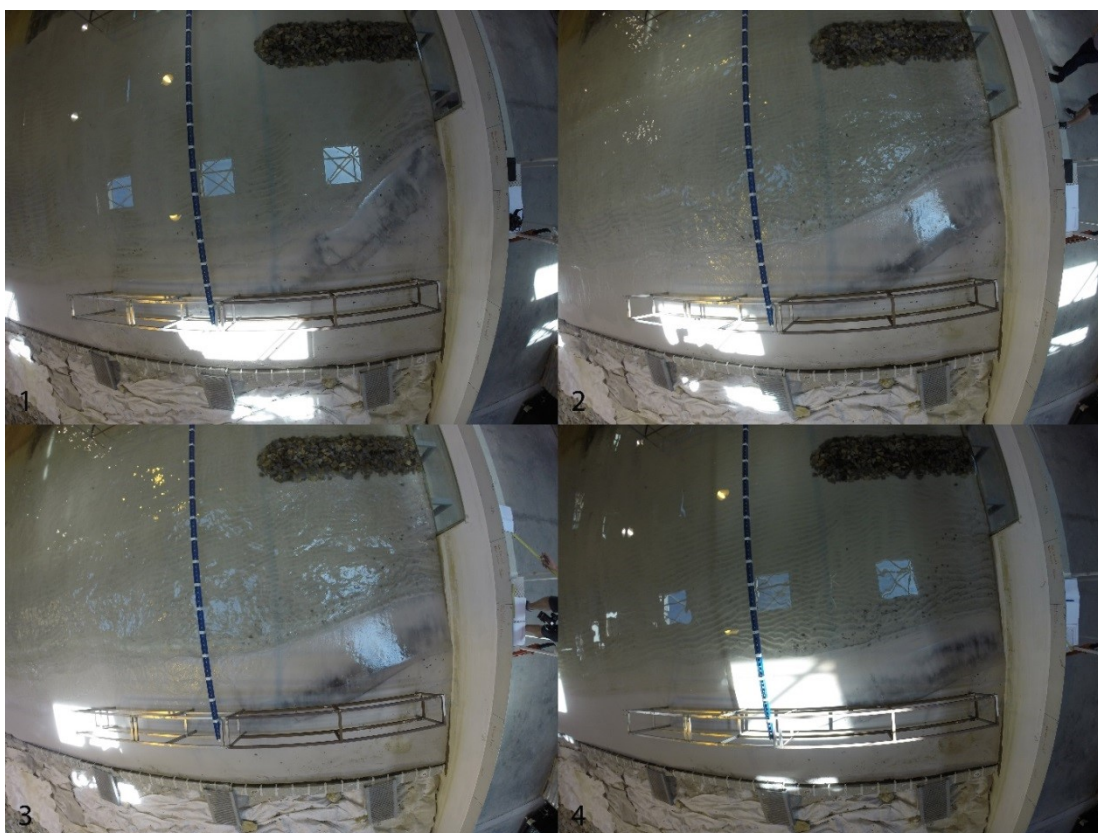


Figura 55 – Sequência do ensaio nº 4 ($T_1=0\text{h}$; $T_2=0.5\text{h}$; $T_3=1\text{h}$; $T_4=1.5\text{h}$)

No final do ensaio, verifica-se que as alterações na praia já não são significativas porque as rugas apenas mudam de posição consoante o ciclo, Figura 56.

Pela análise de todos os perfis relativos ao ensaio nº 4, presentes no anexo, a erosão em praticamente todos é bastante evidente, mas não sendo muito claro o destino final da areia removida do saliente.

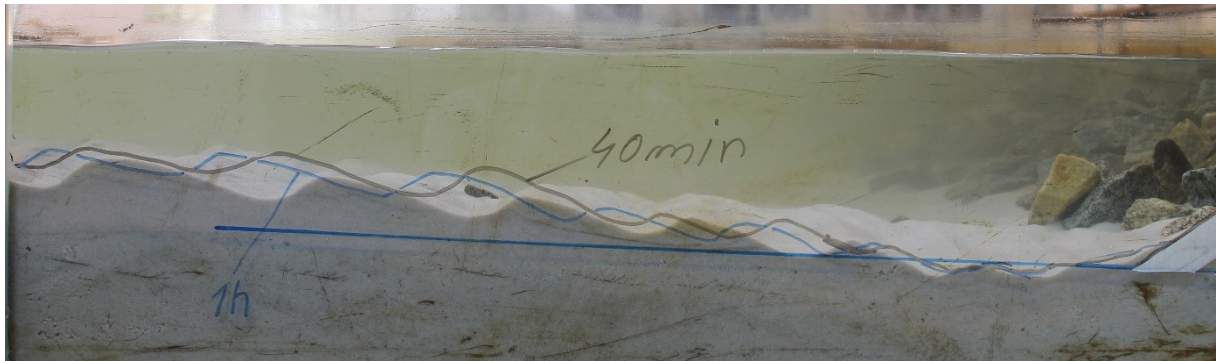


Figura 56 – Rugas a sotamar do quebramar no final de 1.5h de ensaio

3.5.6 SÉRIE II – AAT

A combinação do quebramar destacado submerso com um tómbolo foi executado após o ensaio da série I com superestrutura, e devido às alterações do tómbolo junto ao quebramar houve uma necessidade de repor as condições iniciais do tómbolo. Para tal, foi necessário adicionar cerca de 0.1m^3 de areia, $20,261\text{m}^3$ em protótipo, resultando num tómbolo com as características descritas na Tabela 30.

Tabela 30 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido no modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	1.52m
Largura do tómbolo na posição -1m	0.98m
Largura do tómbolo na posição -2m	0.95m

Neste ensaio espera-se que o tómbolo não se mantenha estável, e seja severamente erodido ao ponto de se formar um saliente. De acordo com o dimensionamento efetuado no capítulo 3.4.3.2 prevê-se que o a extremidade do saliente fique a uma distância de 1.07m do quebramar.

As alterações no tómbolo foram muito significativas em intervalos muito curtos, Figura 57. Num intervalo de 35min, pouco mais de metade do tempo do ensaio, que o tómbolo foi praticamente removido numa largura de praia de 1m. Apesar de o tómbolo ter desaparecido parte da areia ficou retida a sotamar do quebramar ao ponto de cobrir na totalidade a berma interior do quebramar. Esta areia pode ter ficado retida neste local devido à inexistência de transporte longitudinal.

As ondas ao espalharem-se no tómbolo/saliente, eram direccionadas pela forma do mesmo, criando uma corrente longitudinal que foi retirando os sedimentos para o exterior da zona abrigada pelo quebramar submerso.



Figura 57 – Perfil transversal no eixo de simetria após 35min de ensaio

Observando as fotografias, que permitem ver de cima a praia, Figura 58, é possível observar as rápidas alterações no tómbolo, assim como o alargamento do saliente perto da secção do PT2.

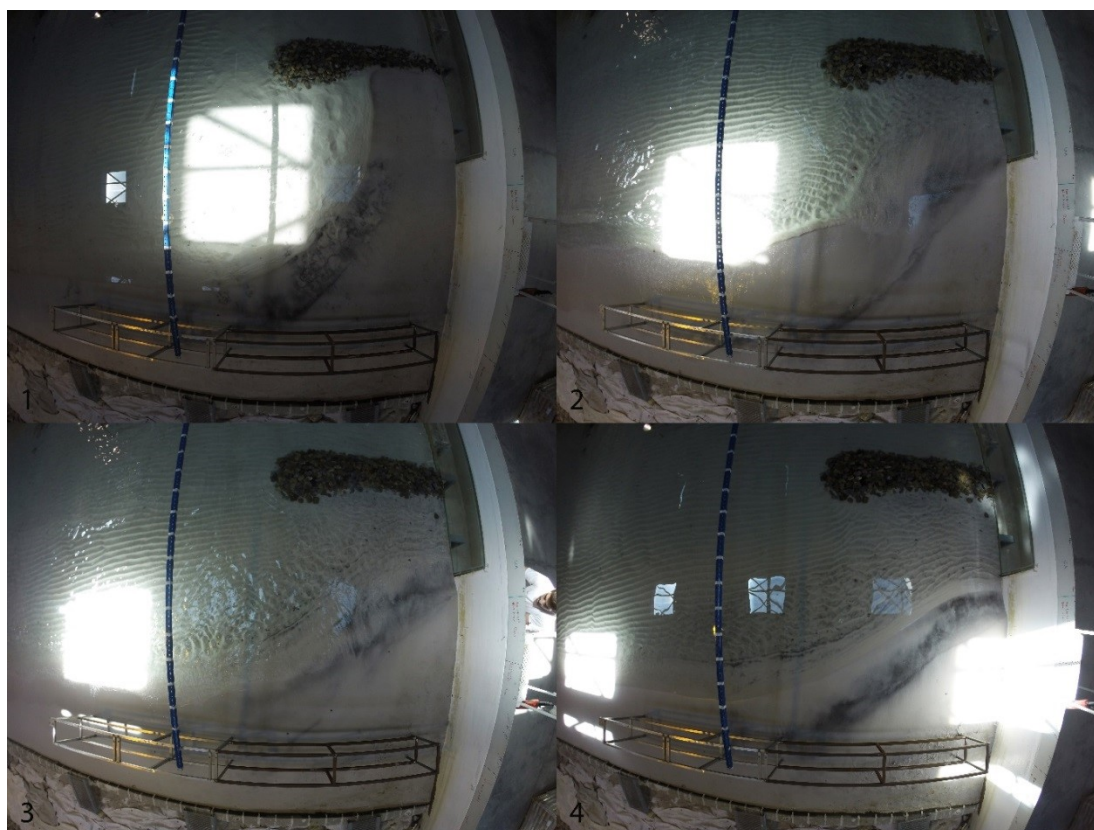


Figura 58 – Sequência do ensaio nº 8 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

No final do ensaio algumas secções emersas medidas inicialmente não puderam ser medidas, porque deixaram de existir, na Tabela 31 apresentam-se as características do saliente final.

Tabela 31 – Dimensões finais do saliente resultante no final do ensaio

Largura do tómbolo na posição 0m	1.65m
Extremidade do saliente	Posição -0.77m

Nos perfis transversais, PT1 e PT2, presentes no anexo, é evidente a erosão do tômbolo e a sua alteração para um saliente. No perfil PT1 é possível observar uma variação máxima da altura de praia de 13.4cm no modelo, o que corresponde a uma variação da altura de praia aproximadamente de 5m. Nos restantes perfis não é possível retirar conclusões muito evidentes, em que ocorreu alguma acreção nos perfis PT3 e PT4 e no PT5 as variações são muito pequenas. Observando a Figura 59 é possível ter a percepção de todas as alterações referidas acima, como a passagem de um tômbolo para um saliente, a acumulação de areia a barlar da estrutura e que nos restantes perfis não houve uma variação muito significativa do volume de areia.

Após este ensaio deveria seguir-se o ensaio da série III – AAT, mas como a estrutura na série II não favorecia a estabilidade de um tômbolo, a série III também não o conseguiria fazer já que a sua cota de coroamento é inferior à da estrutura da série II. Então optou-se por não fazer o ensaio da série III – AAT.

Perfis iniciais



Perfis finais

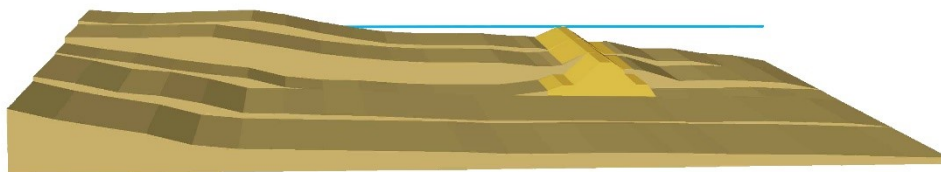


Figura 59 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5

3.5.7 SÉRIE III - AAS

Após os resultados da série II – AAS, em que o saliente não se manteve estável e a eficiência da estrutura para dissipar a energia das ondas incidentes não seria a ideal, dadas as dimensões do recife artificial proposto no capítulo 3.4.3.3 considerou-se que o nível de proteção da costa com esta estrutura seria muito mais reduzido do que o nível de proteção da costa fornecido pela estrutura da série II.

Portanto, a série III foi alterada e considerou-se um quebramar submerso em geossintéticos com os tubos disponíveis no LH, Figura 60. Os tubos utilizados para a construção deste quebramar submerso em geossintéticos tinham um diâmetro de 10 e 15cm. Com a utilização do tubo com 15cm de diâmetro esperava-se que o recife tivesse uma cota de +1.55m ZH, mas como os tubos vão perdendo areia e não ficam devidamente cheios, estes achatam e após a colocação dos tubos verificou-se que a cota de coroamento desta estrutura estava à cota +0.5m ZH.

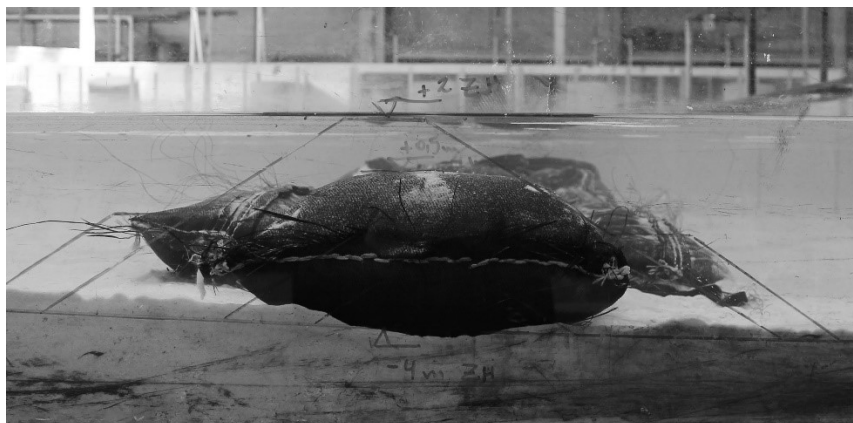


Figura 60 – Secção transversal do quebramar destacado submerso em geossintético

Como os tubos não tinham 1.96m mas sim 1.85m, utilizaram-se dois tubos com 10cm de diâmetro colocados lateralmente ao tubo principal, de 15cm, Figura 61. Esses dois tubos foram colocados mais avançados do que o tubo principal para se completarem os 1.96m, e no seu interior foram colocados sacos em geossintético cheios com areia para colmatar o vazio entre eles.

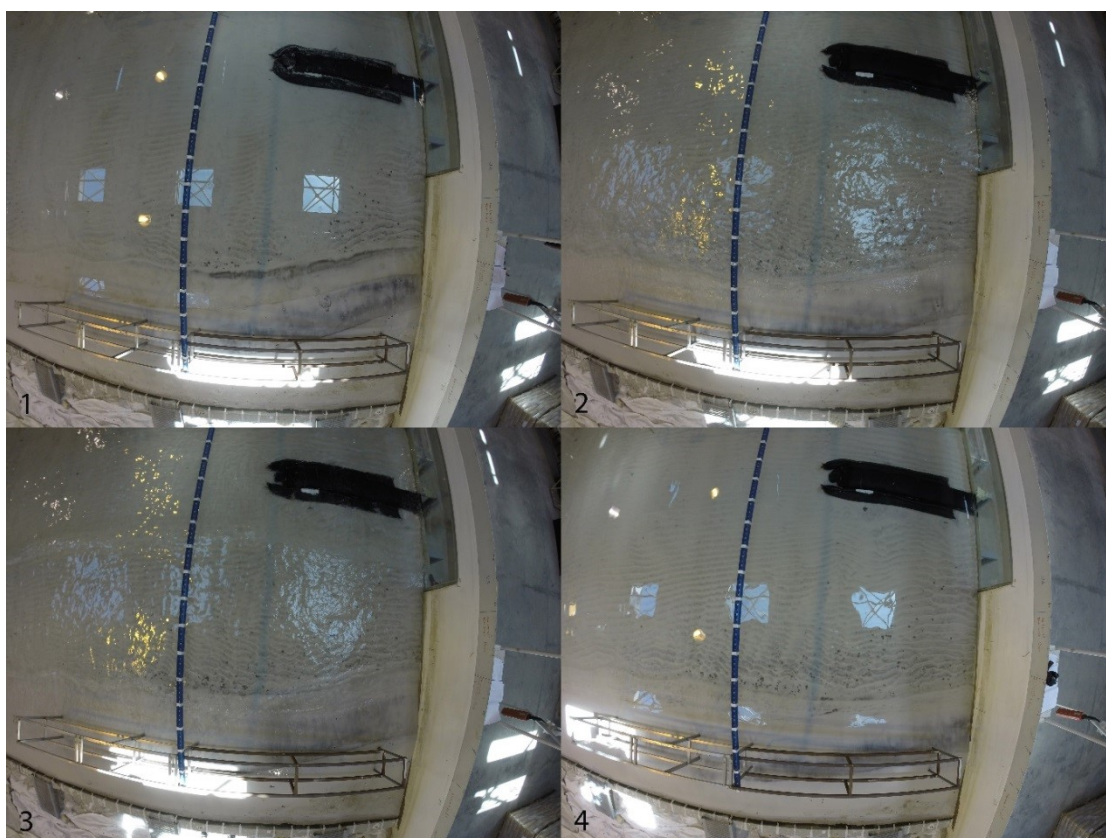


Figura 61 – Sequência do ensaio nº 5 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

O saliente utilizado neste ensaio é o saliente resultante do ensaio da série II – AAS, T₁ da Figura 61, em que a extremidade do saliente se encontra na posição +0.29m e a plataforma na posição +0.64m.

Neste ensaio espera-se que o saliente recue ainda mais já que a cota de coroamento da estrutura é inferior à da estrutura da série II.

Após 20min de ensaio a plataforma do saliente recuou para 20cm, o correspondente a quase 15m em protótipo. A presença desta estrutura submersa poderá contribuir positivamente para a melhoria da qualidade das ondas para a prática de surf, os fenómenos observados relativamente à rebentação das ondas pode não ser a que aconteceria em protótipo devido à distorção da escala.

No final do ensaio a plataforma fixou-se na posição +1m e a extremidade do saliente na posição +0.56m. A baixa cota desta estrutura é muito pouco eficiente na dissipação da energia das ondas, e caso se estivesse numa situação de preia-mar, essa eficiente seria ainda mais baixa ou até nula. Os perfis deste ensaio são apresentados no anexo.

3.5.8 SÉRIE IV - AAT

Esta série não foi planeada e trata-se de um ensaio extra em que se pretendia reproduzir em modelo um quebramar destacado emerso em geossintético, e qual seria a estabilidade do tómbolo na presença de uma estrutura deste tipo. Para a construção desse quebramar encheu-se um tubo em geossintético, com 2m de comprimento e 20cm de diâmetro, com areia. Devido ao enchimento deste tubo não ser feito de forma apropriada, manualmente, o tubo não fica uniforme e como os tubos da série III ficam achatados e não com a altura pretendida. Portanto, para contornar este problema foram colocados três tubos de 10cm para servirem de fundação para o tubo maior e aumentar assim a cota de coroamento desta estrutura. A extremidade do quebramar, mais perto da cabeça do quebramar, encontra-se a uma cota mais baixa devido à dificuldade no enchimento destes tubos. Para reduzir a quantidade de sedimentos que poderiam ser arrastados entre a parede e o tubo, foi colocado um pedaço de geotêxtil para impedir a passagem destes sedimentos.

Este ensaio foi precedido pelo ensaio nº 8, correspondente à série II – AAT, e devido à forte erosão ocorrida neste ensaio houve a necessidade de adicionar areia para reconstruir o tómbolo utilizado nos ensaios anteriores, para a qual foram necessários 0.55m³ de areia, o correspondente a 111,437m³ em protótipo, resultando num tómbolo com as dimensões apresentadas na Tabela 32.

Tabela 32 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	1.73m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.12m
Largura do tómbolo na posição -2m	1.08m

As alterações mais significativas que se observaram neste ensaio foram junto ao quebramar, onde se formou uma fossa de erosão devido aos galgamentos. Esta fossa de erosão tem uma dimensão superior às dos ensaios da série I, isto porque a estrutura em geossintético é lisa, não permitindo assim dissipar tanta energia como um quebramar de taludes.

A parte do quebramar que ficou um pouco mais baixa, devido ao enchimento não ter sido adequado e pela colocação do tubo com a grua, permitia galgamentos mesmo para ondas mais pequenas, estes galgamentos formaram uma fossa de erosão naquele local, Figura 62.



Figura 62 – Fossa de erosão provocada pelo enchimento indevido do tubo

Após 20min de ensaio as alterações no tómbolo eram notáveis, devido à formação da fossa de erosão referida anteriormente. Esses 20min de ensaio foram os mais influentes de todo o ensaio em que no restante ensaio apenas a plataforma foi recuando, Figura 63, efeito esse que pode ter sido agravado devido a efeitos de parede, associados à utilização da simetria. Parte dos sedimentos removidos do tómbolo junto ao quebramar foram transportados para barlar, onde se formou uma barra. A reflexão das ondas mais pequenas era notória a barlar. Observando a Figura 64 é possível verificar que apesar do tómbolo ter sido bastante erodido junto ao quebramar e não existir areia emersa a fazer a ligação ao quebramar, o restante tómbolo manteve-se em equilíbrio. No final o tómbolo ficou com as dimensões referidas na Tabela 33, onde se constata que as alterações que ocorreram no tómbolo, com a exceção junto ao quebramar, foram pouco significativas.

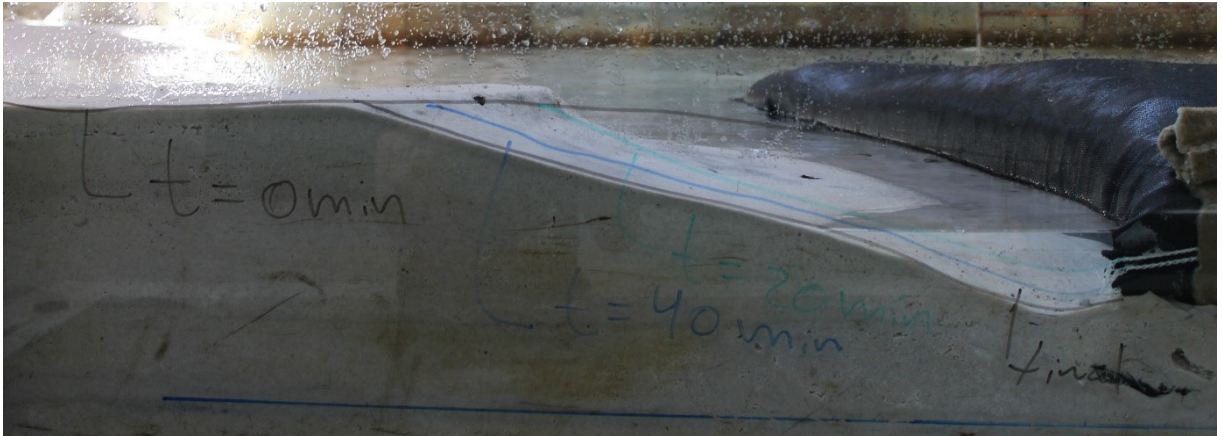


Figura 63 – Perfil transversal no eixo de simetria do modelo no final do ensaio e marcas da evolução do perfil ao longo do ensaio



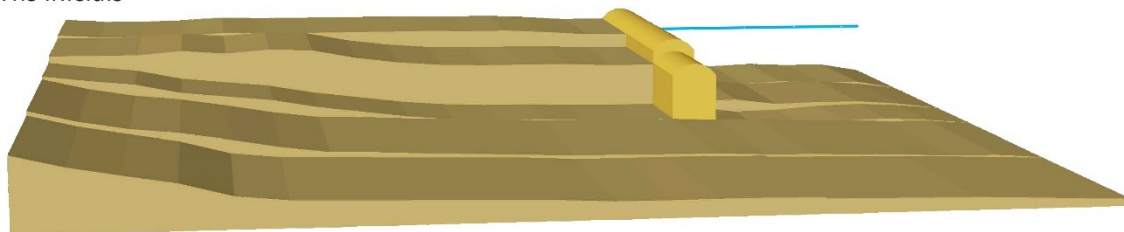
Figura 64 – Sequência do ensaio nº 9 ($T_1=0h$; $T_2=0.25h$; $T_3=0.5h$; $T_4=1h$)

Tabela 33 – Dimensões iniciais do tómbolo reproduzido em modelo

Largura do tómbolo na posição 0m	1.59m
Largura do tómbolo na posição -1m	1.17m
Largura do tómbolo na posição -2m	0m

No modelo em 3D, Figura 65, constituído pelos vários perfis transversais retirados, presentes no anexo no ensaio nº 9, é possível verificar a formação da fossa de erosão e da barra a barlar do quebramar. Sendo essas as alterações evidentes que ocorreram neste ensaio.

Perfis iniciais



Perfis finais

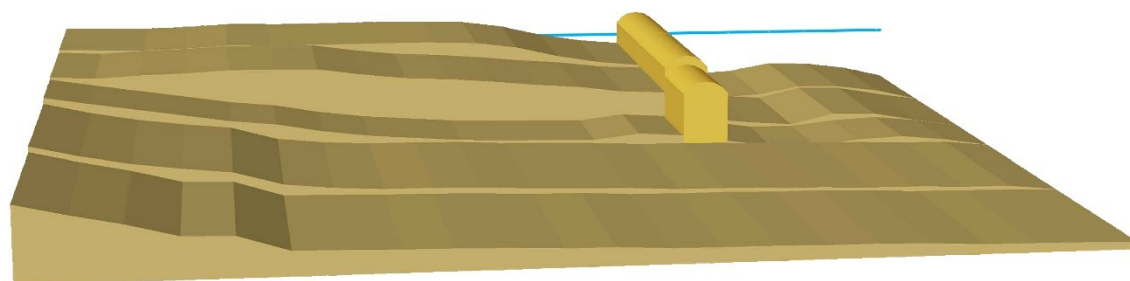


Figura 65 – Representação em modelo 3D de PT1, PT2, PT3, PT4 e PT5

4

CONCLUSÕES

4.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS E PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Neste capítulo será feita uma síntese da análise qualitativa sobre os resultados obtidos no capítulo 3.5.

Com estes ensaios foi possível verificar que a implantação de uma estrutura destacada numa praia costeira onde a presença e o fluxo de sedimentos é reduzido ou inexistente não haverá acumulação de areia ao ponto de se formar um saliente ou um tómbolo, Série I – SAA. Poderá haver alguma acumulação de areia, mas não será com dimensões da ordem de grandeza pretendida.

A Série I – AAS permitiu revelar a importância das bermas submersas, da altura da plataforma e da largura do saliente, na zona mais próxima à linha de costa inicial, para a estabilidade do saliente. Nesta série realizaram-se dois ensaios, em que a extremidade do saliente se encontrava na mesma posição para os dois ensaios. O primeiro saliente foi muito erodido porque não foi feita alimentação artificial das bermas submersas, a altura da plataforma era inferior à da plataforma do segundo saliente e a largura do saliente, junto à linha de costa inicial, era também inferior à do segundo saliente. O segundo saliente manteve-se estável, apenas sofreu alguma erosão na extremidade, e na presença de transporte longitudinal de sedimentos era expectável que o saliente fosse crescendo até se formar um tómbolo.

Os quebramares submersos Série II e Série III, demonstraram que não são estruturas eficazes na proteção da costa e não promovem tanta acumulação de areia como um quebramar emerso. Apesar de se ter observado a retenção dessa areia a sotamar do quebramar, na presença de transporte longitudinal essa areia seria removida levando a que a influência destas estruturas na costa fosse ainda menor. Estas estruturas poderiam ser consideradas para campos de esporões, desde que o espaçamento entre esporões não seja demasiado elevado para a implantação de uma estrutura deste tipo, onde o transporte longitudinal é bastante afetado, para funcionar como uma retenção de parte dos sedimentos dessas praias. Com os resultados destas duas séries também se pode concluir que os recifes artificiais por si só como estruturas de defesa costeira não apresentarão resultados satisfatórios. Poderão mitigar os efeitos da agitação incidente mas a sua eficiência na dissipação de energia é muito baixa comparando com quebramares emersos. E será ainda mais baixa para situações de PMAV, já que a cota do recife está, tipicamente, a uma cota entre 0 ZH e +2m ZH.

Relativamente aos quebramares emersos, Série I e Série IV, as três soluções testadas foram bastante eficazes na manutenção da estabilidade do tómbolo alimentado artificialmente. De entre as três soluções a que apresentou comportamento menos favorável foi a estrutura de geossintético devido à sua superfície ser lisa e pouco porosa, reduzindo a eficácia da estrutura na dissipação das ondas incidentes, aumentando, conseqüentemente, a erosão no tómbolo. A estrutura da Série IV apresentaria dificuldades

técnicas aquando o seu enchimento e colocação devido às grandes dimensões do tubo. As estruturas que apresentaram melhor comportamento na manutenção da estabilidade do tómbolo foram as estruturas testadas na Série I, sem e com superestrutura. A existência da superestrutura, enquanto esta se manteve estável, apresentou melhor comportamento e menor erosão do tómbolo junto ao quebramar comparativamente ao quebramar sem superestrutura.

A escolha entre as diversas soluções dependerá das condições energéticas e sedimentares locais e da necessidade de proteção da praia e das estruturas de proteção que a praia já possa ter. Pelo que se verificou as estruturas submersas poderão ser uma boa solução como uma estrutura complementar de um campo de esporões, enquanto que os quebramares emersos poderão ser uma alternativa aos tradicionais esporões. Os quebramares emersos se forem dimensionados para formarem um tómbolo funcionarão como um esporão, porém a praia gerada pelo quebramar destacado terá uma área e um perímetro de praia bastante superior à de uma praia gerada com um esporão.

Tabela 34 – Tabela resumo das conclusões retiradas para as diversas estruturas ensaiadas

Estrutura	Proteção da costa e manutenção da estabilidade do saliente/tómbolo
Série I (Ensaio 1,2,3 e 6)	Muito boa solução
Série I com superestrutura (Ensaio 7)	Excelente solução
Série II (Ensaio 4 e 8)	Solução pouco eficaz
Série III (Ensaio 5)	Solução muito pouco eficaz
Série IV (Ensaio 9)	Muito boa solução

4.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este tipo de estruturas são pouco utilizadas na costa portuguesa, o que significa que existe pouca informação sobre a implementação de estruturas. Analisando a tabela do anexo, é possível realizar mais ensaios com diferentes tipologias de estruturas, orientações do quebramar diferentes, níveis de água, condições de agitação, entre outros. Neste estudo não foi considerado o transporte longitudinal de sedimentos, o que poderá ser realizado em estudos posteriores da mesma forma que Silva (2010) realizou. Considerando o transporte longitudinal poder-se-á validar algumas hipóteses propostas pelo autor na apresentação dos resultados.

Com métodos de medição mais precisos, e automáticos, poder-se-á realizar estudos da evolução temporal dos perfis com transporte longitudinal, à semelhança do que foi realizado em Silva (2010). E poder-se-á retirar mais perfis transversais, se houver disponibilidade de tempo e de aparelhos que permitam retirar os perfis transversais com alguma agilidade, que permitirá a elaboração de modelos longitudinais mais precisos.

O fator mais desencorajador na aplicação destas estruturas é custo associado à construção e manutenção das mesmas. Com a obtenção de mais informação sobre o comportamento deste tipo de estruturas em condições energéticas, ondas e marés, semelhantes às da costa portuguesa, aumentará a confiança nos métodos de dimensionamento utilizados, prevendo-se com alguma fiabilidade o efeito que a estrutura provocará na linha de costa, reduzindo assim os riscos de investimento em quebramares destacados para a proteção da costa.

BIBLIOGRAFIA

- Alves, J. (2011). *Estudo experimental de um recife artificial para surf e defesa costeira em materiais geossintéticos*. Dissertação de mestrado, FEUP.
- Boloix, G. (2011). *Shoreline response to detached breakwaters. Overview of design guidelines and application to field cases*. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya
- Chasten, M. A., Rosati, J. D., McCormick, J. W., Randall, R. E. (1993). *Engineering design guidance for detached breakwaters as shoreline stabilization structures*. US Army Corps of Engineers
- das Neves, L. (2003). *Geossintéticos e Geossistemas em Engenharia Costeira*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- F. Veloso-Gomes (Janeiro 2001). Situação na Zona Costeira da Costa Nova / Vagueira. Alimentação Artificial e Duna Artificial”. Relatório no âmbito do Protocolo FEUP / INAG.
- Herbich, J.B. (2000). Offshore (detached) breakwaters. In *Handbook of Coastal Engineering*, pp 5.2-5.97, McGraw-Hill Handbooks, Texas, EUA.
- Herbich, J.B. (2000). Coastal protection methods. In *Handbook of Coastal Engineering*, pp 8.2-8.66, McGraw-Hill Handbooks, Texas, EUA.
- Herbich, J.B. (2000). Beach nourishment design. In *Handbook of Coastal Engineering*, pp 10.2-10.33, McGraw-Hill Handbooks, Texas, EUA.
- Laranjeira, A. (2010). *Estudo de um Recife Artificial para Surf e Defesa Costeira na Praia de Espinho em Materiais Geossintéticos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Pereira, G. (2008). *Projecto de um quebramar destacado de proteção para a frente marítima de Espinho*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Pilarczyk, K. (2003). *Design of low-crested (submerged) structures: an overview*. 6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 2003, Colombo, Sri Lanka.
- Ramos, T. (2011). *Estudo de reabilitação de estruturas de defesa costeira. Casos de estudo do Mindelo, Norte do Furadouro e Torreira*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Silva, R. (2010). *Avaliação experimental e numérica de parâmetros associados a modelos de evolução da linha de costa*. Tese de doutoramento, FEUP.
- Taveira Pinto, F. (2007). *Análise da Concepção e Dimensionamento Hidráulico-Estrutural de Quebramares Destacados*. Lição de Síntese, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- U.S. Army Corps of Engineers (2006). Cross-shore sediment transport processes. *Coastal Engineering Manual*, pp III-3-19/III-3-51.
- U.S. Army Corps of Engineers (2006). Shore protection projects. *Coastal Engineering Manual*, pp V-3-1/V-3-110.
- U.S. Army Corps of Engineers (2006). Beach fill design. *Coastal Engineering Manual*, pp V-4-1/V-4-78.

[1] – <http://nautarch.tamu.edu/shiplab/indexbaleal.htm>, acessado em Abril de 2015

ANEXOS

FICHAS RESUMO DOS ENSAIOS REALIZADOS

ÍNDICE

Quebramar destacado emerso sem alimentação artificial	84
Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um saliente	90
Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um saliente (2º)	96
Quebramar destacado submerso com alimentação artificial de um saliente	102
Quebramar destacado submerso com alimentação artificial de um saliente	108
Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um tômbolo	114
Quebramar destacado emerso com superestrutura e com alimentação artificial de um tômbolo	121
Quebramar destacado submerso com alimentação artificial de um tômbolo	128
Quebramar destacado emerso em geossintético com alimentação artificial de um tômbolo	135

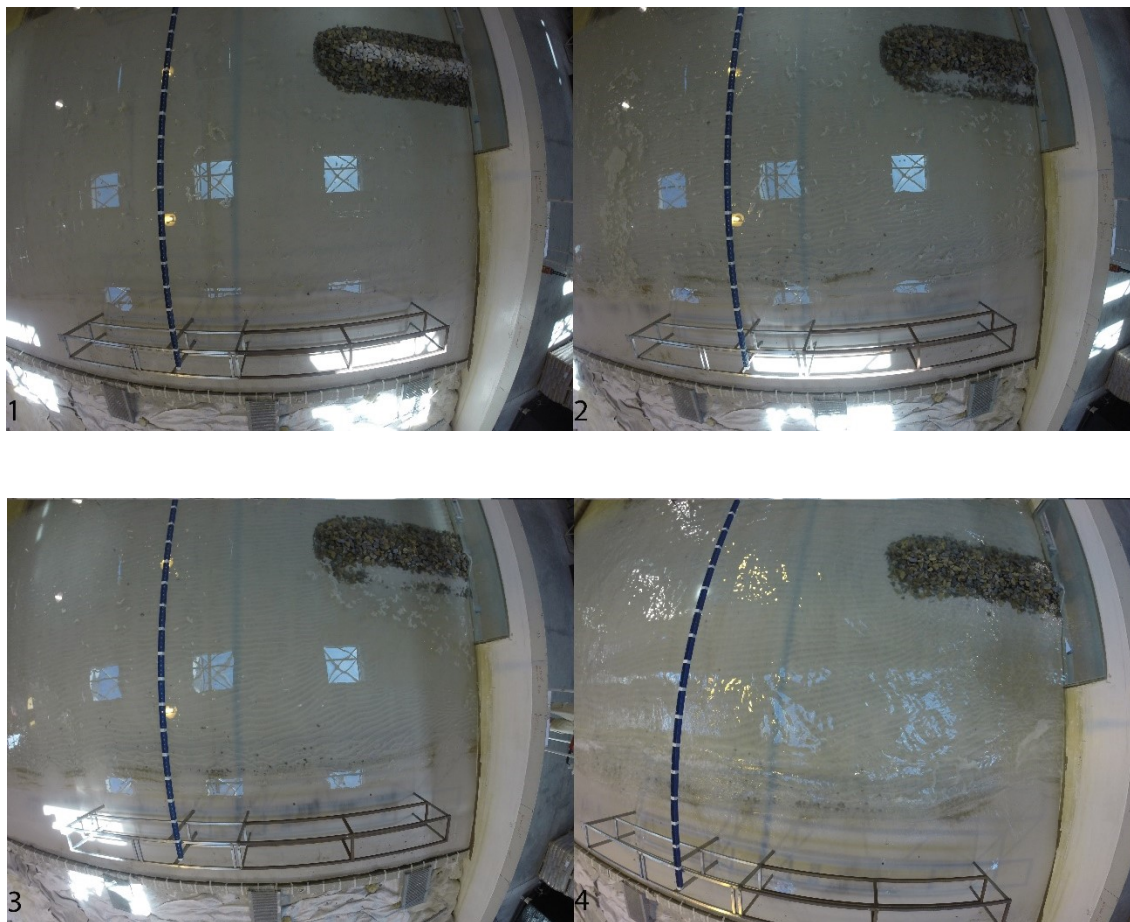
Ensaio		Quebramar destacado emerso sem alimentação artificial						Nº de ensaio	1
Altura de onda pretendida (cm)	5.4	Altura de onda medida (cm)	4.11	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1
	5.4		4.85		1.97		1.90	Duração (h)	1.21
	8		6.8		1.97		1.90		3
Volume de areia utilizado									
Para a construção do perfil inicial foram necessários 8 big bags, com cerca de uma tonelada cada, e três caixotes e meio com 1.1x0.90x0.55m³, totalizando um volume cerca de 9 m³.									
NOTA: Tanto os big bags como os caixotes não estavam totalmente cheios e com algumas pedras de pequenas dimensões.									
Observações									
1ª Parte do ensaio (1 hora): <ul style="list-style-type: none">Esta primeira parte foi dividida em duas partes, em que nos primeiros 30 minutos, o correspondente a 2 ciclos, não se utilizou fator de ganho, isto para determinar este fator que permite a obtenção da altura de onda pretendida;Nos segundos 30 minutos utilizou-se o fator de ganho de 1.21, e ainda assim a altura de onda ainda estava aquém da onda pretendida, o que mostra que pode haver algum aparelho de geração de ondas necessita ser calibrado;Nesta primeira parte verificou-se um assentamento de 4 cm do coroamento, isto porque o núcleo foi composto por areia, e com a agitação a areia foi removida do núcleo e ficou acumulada na risberma a sotamar. Este assentamento prejudica a eficiência da estrutura do ponto de vista hidráulico porque as ondas galgam o quebramar com maior facilidade;As rugas em toda a praia eram evidentes, assim como as rugas de difração na cabeça do quebramar;A barlamar não há alterações perceptíveis.									
Concluída a primeira parte verificou-se que as alterações na praia com as presentes condições de agitação estavam a ser demasiado morosas e então optou-se por aumentar a altura de onda para acelerar os processos de alteração da linha de costa.									
2ª Parte do ensaio (2 horas): <ul style="list-style-type: none">Esta ultima parte do ensaio foi contínua sem qualquer interrupção, e a altura de onda considerada foi de 8cm, que caso fosse atingida esta altura as ondas seriam de 3 metros, cenário este bastante frequente na costa portuguesa;Após 30 minutos é possível observar a formação de um pequeno saliente junto à parede;									

- Após os 30 minutos iniciais as alterações observadas foram mínimas, o que significa que a praia atingiu uma situação de equilíbrio;
- As rugas provocadas pelas ondas difratadas são reproduzidas até 1 metro, longitudinalmente, relativamente à cabeça do quebramar;
- Alguns blocos do coroamento foram deslocados, isto verifica-se porque devido à distorção da escala, o coroamento ficou demasiado pequeno, sendo constituído praticamente por uma fiada de pedras. Estes deslocamentos não puseram em causa a estabilidade do quebramar, apenas reduziram a sua eficiência do ponto de vista hidráulico;
- Galgamentos, ampliados pelo assentamento do quebramar e pelo deslocamento de alguns blocos, interferiam com as ondas difratadas na cabeça do quebramar tornando-as menos evidentes.

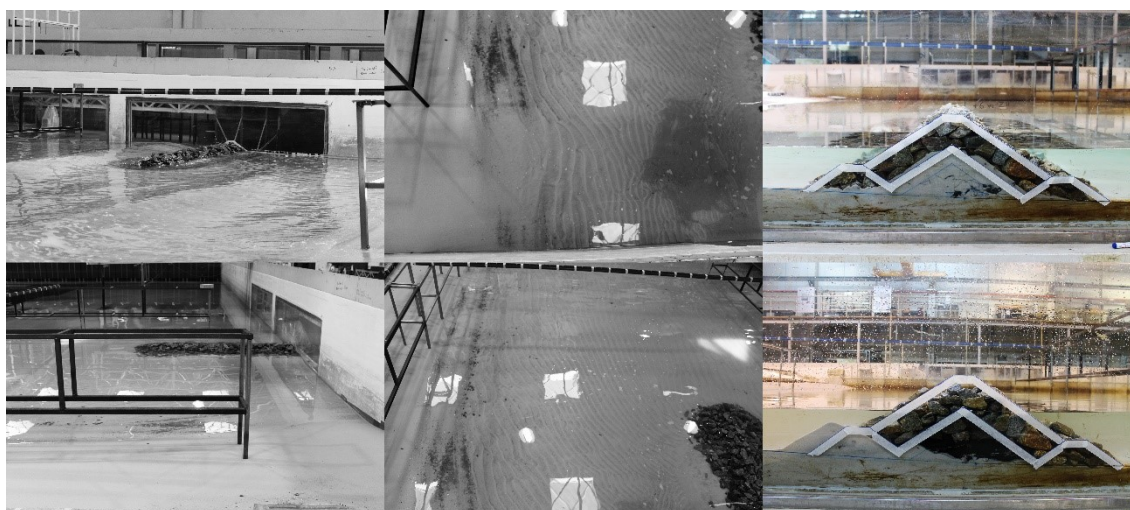
Final do ensaio:

- Apesar do assentamento e o deslocamento de alguns blocos, o quebramar manteve-se estável;
- As rugas provocadas pelas ondas difratadas são bastante notáveis assim como a influência da estrutura;
- Ausência de rugas junto à berma interior do quebramar;
- Houve alterações na costa até 2 metros desde o eixo de simetria da estrutura;
- Apesar do dimensionamento hidráulico ser favorável à formação de um tómbolo, a partir do momento em que a praia entra numa situação de equilíbrio as movimentações de areia são muito reduzidas, ou seja, não se formou um tómbolo pela ausência de sedimentos que alcançam a costa, devido ao transporte longitudinal que não foi considerado neste estudo, e que levariam à acumulação de areia até que se formasse um tómbolo. Esta hipótese verificar-se-á, caso o ensaio com o tómbolo, construído artificialmente, se mantenha estável.

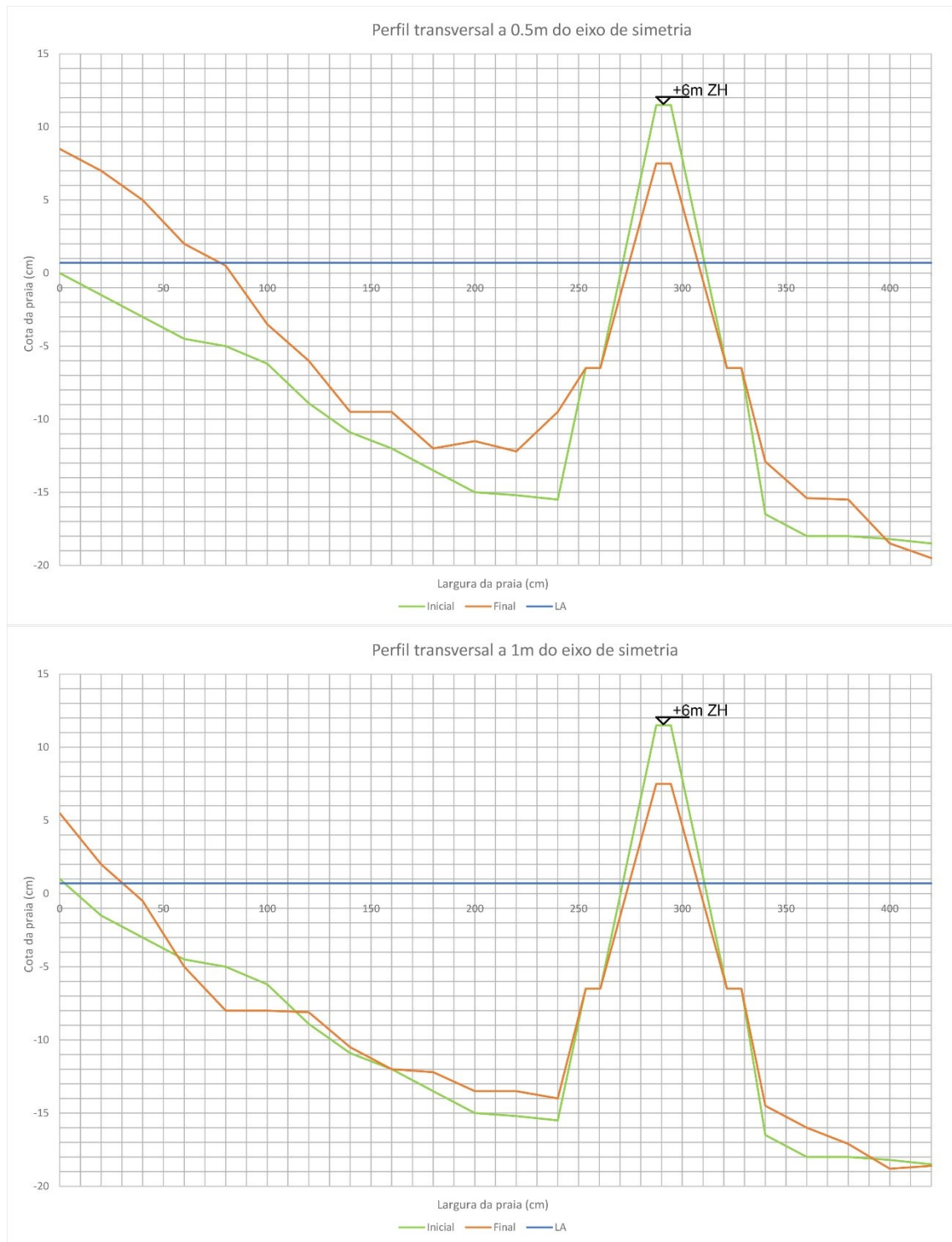
Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

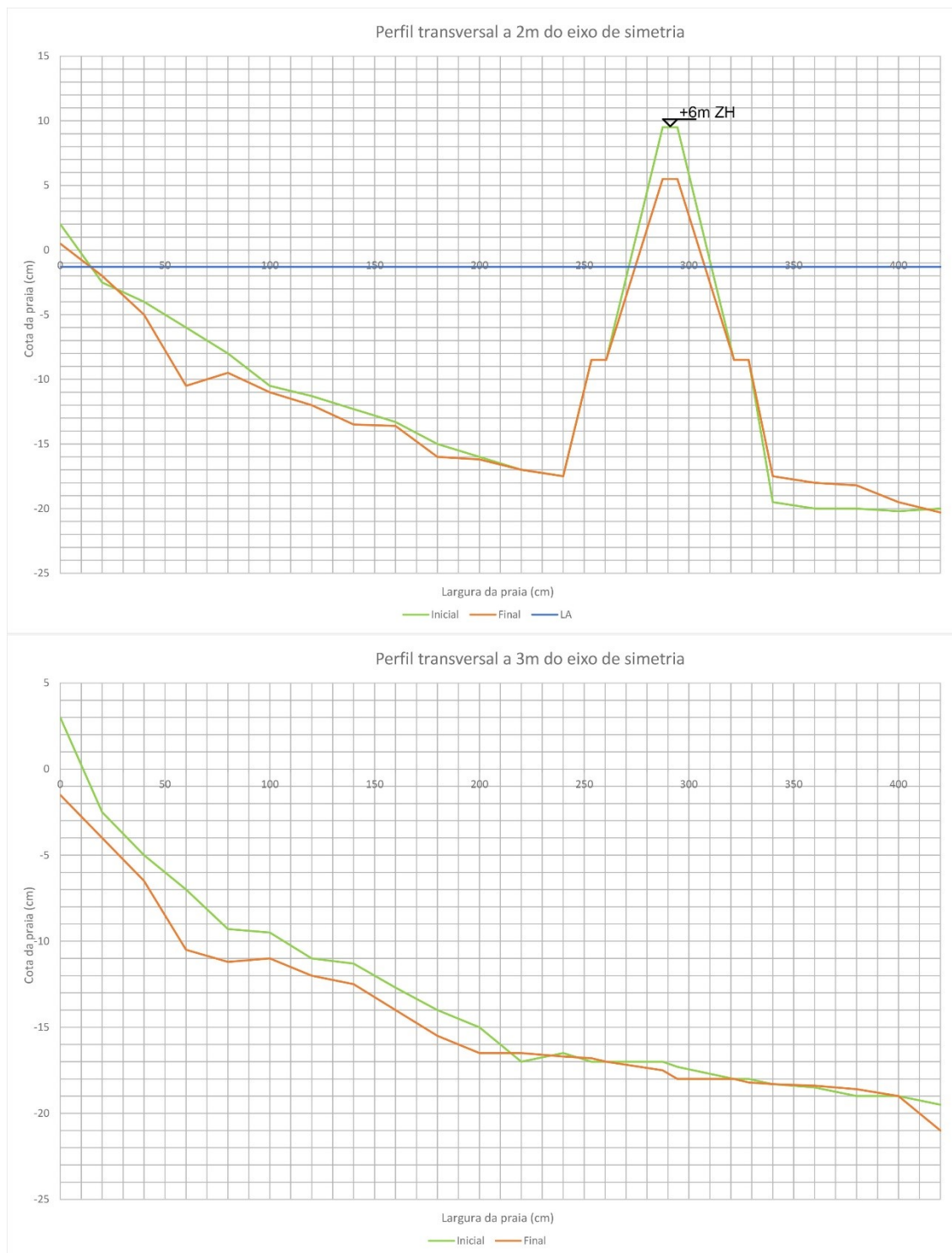


Fotografias com maior detalhe



Perfis Transversais

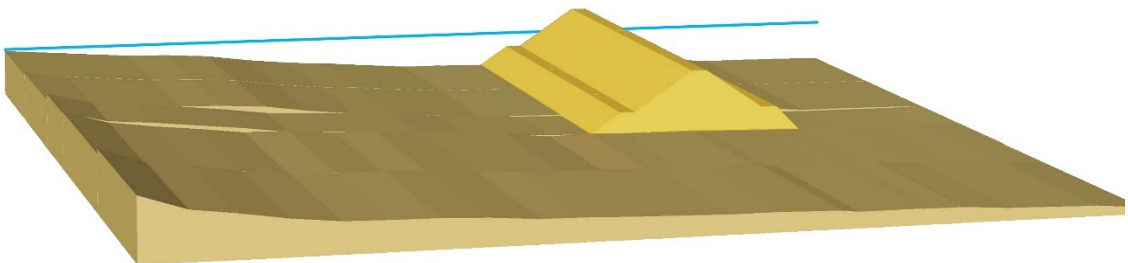




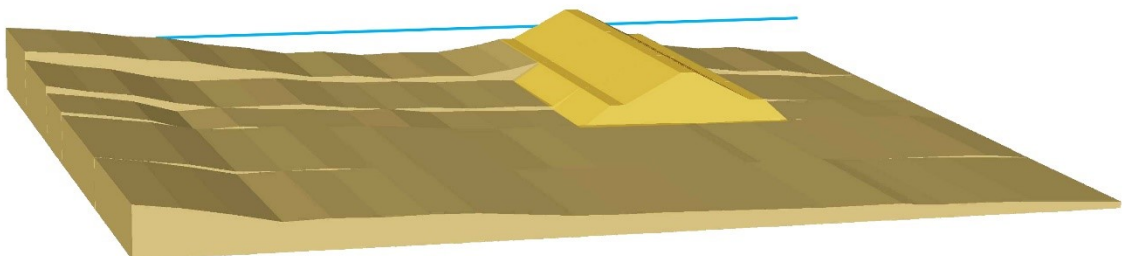


Modelo 3D

Perfis iniciais

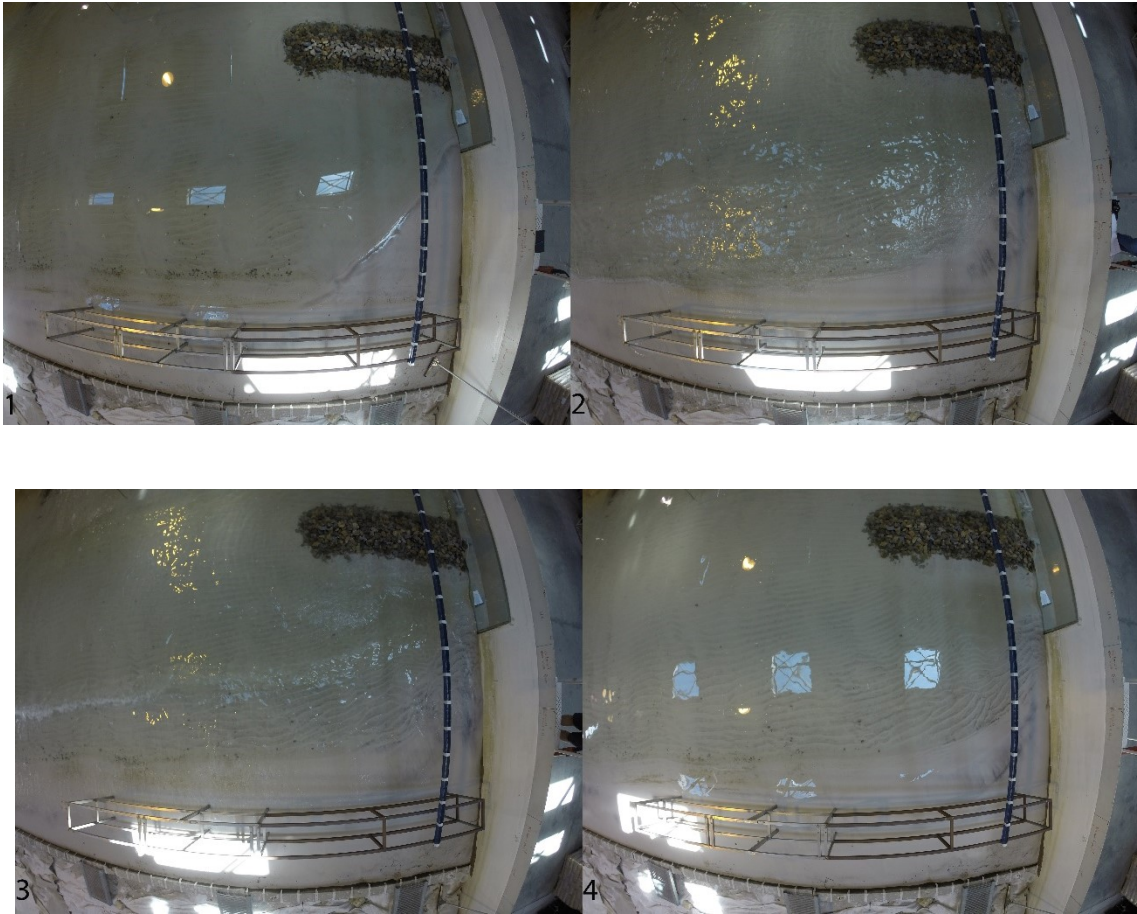


Perfis finais

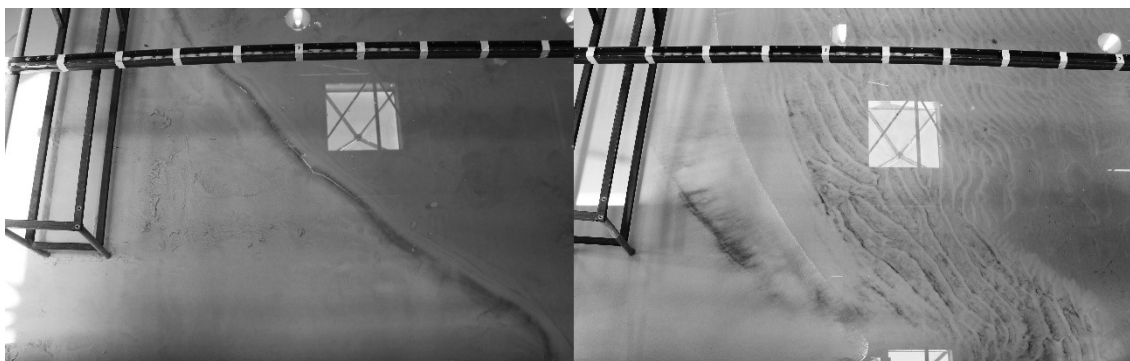


Ensaio	Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um saliente							Nº de ensaio	2
Altura de onda pretendida (cm)	8	Altura de onda medida (cm)	6.6	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Para a construção do saliente foram utilizados 0.24m ³ de areia.									
Observações									
<p>Este ensaio é de facto uma calibração para que o quebramar defina a forma do saliente, para que no ensaio seguinte se possa formar um saliente com uma morfologia mais próxima da morfologia compatível com a estrutura.</p> <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parte da areia removida do saliente foi transportada para compor as bermas submersas do saliente, ou seja, as bermas não tinham areia suficiente para que o saliente se mantivesse estável; • A extremidade emersa do saliente ficou na posição -0.15m; • A berma submersa na extremidade do saliente avançou cerca de 17cm; • A alimentação foi feita de forma linear, sem definir uma forma parabólica previsível, e parte da areia foi empurrada em direção à praia, onde se formou uma plataforma. <p>Neste ensaio não se considerou a secção a 4 metros do eixo de simetria porque pelos resultados do ensaio anterior não se previam alterações significativas nessa secção transversal.</p>									

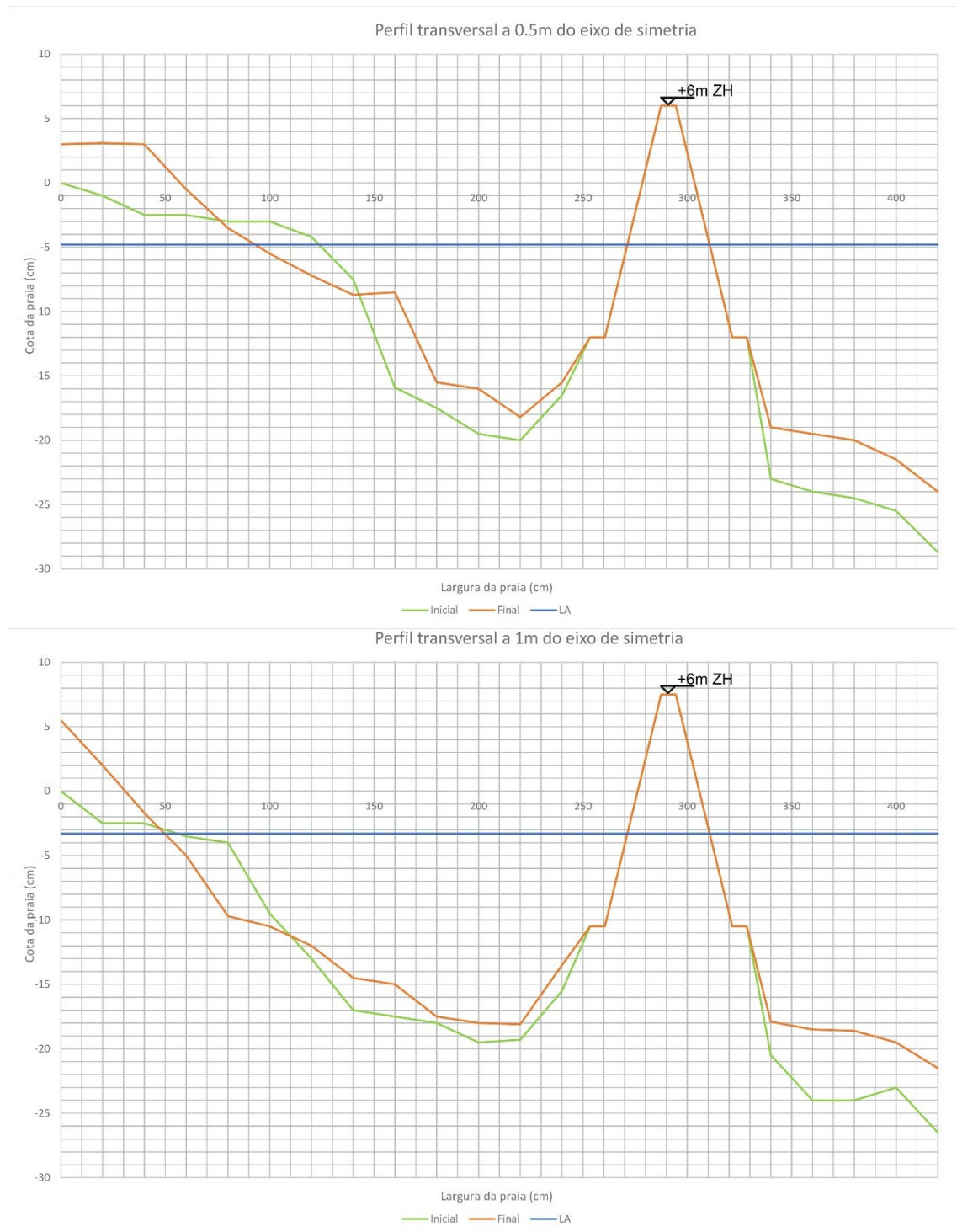
Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

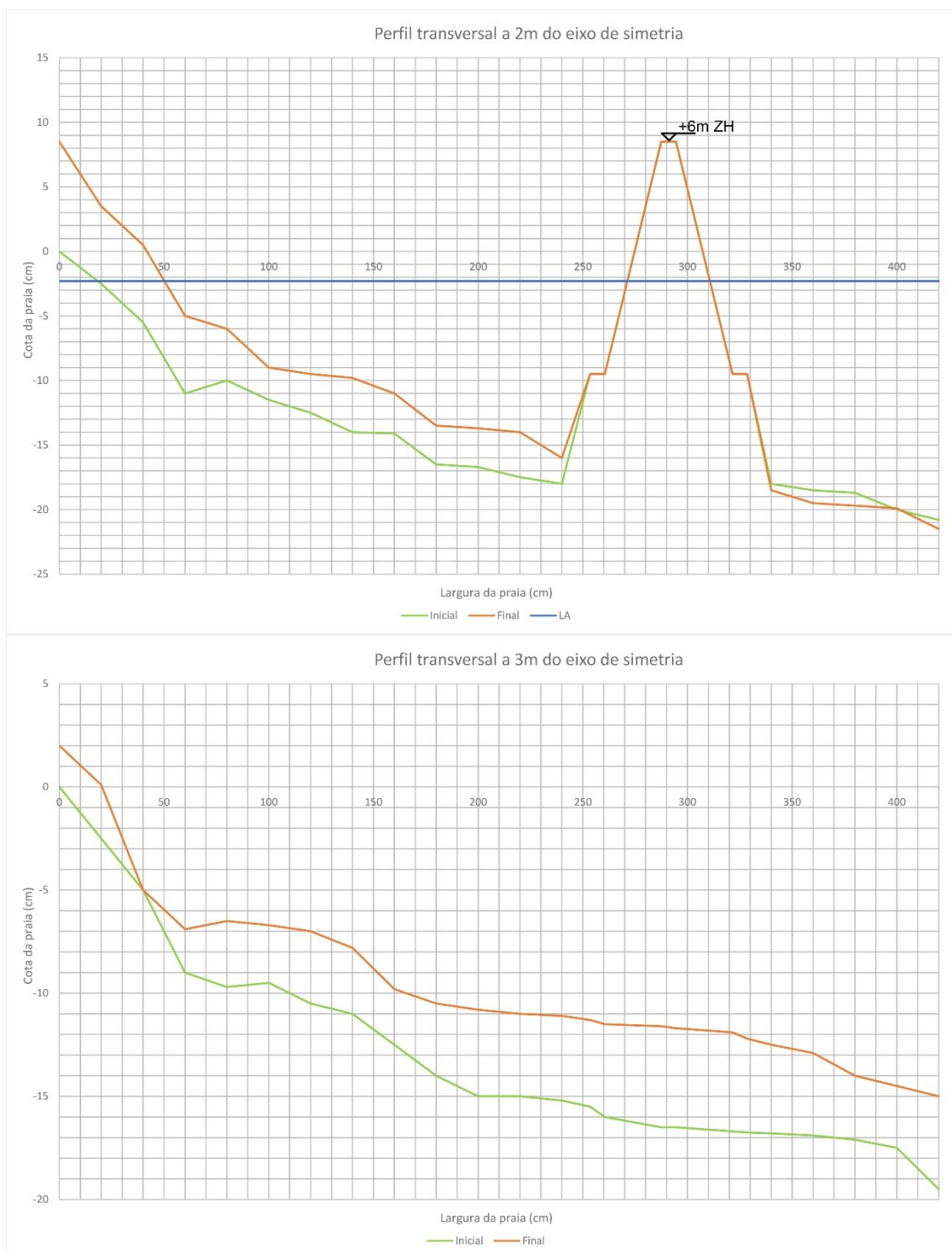


Fotografias com maior detalhe



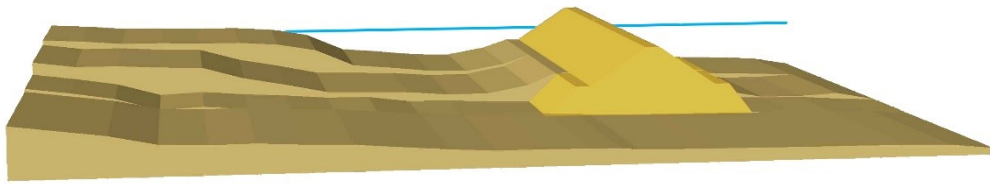
Perfis Transversais



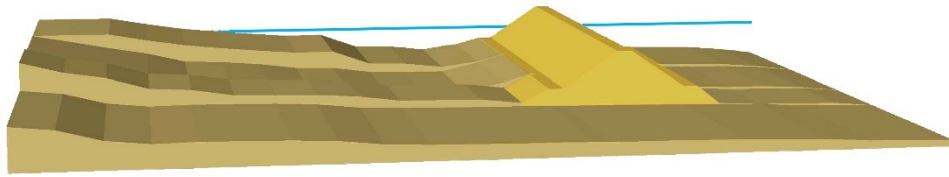


Modelo 3D

Perfis iniciais

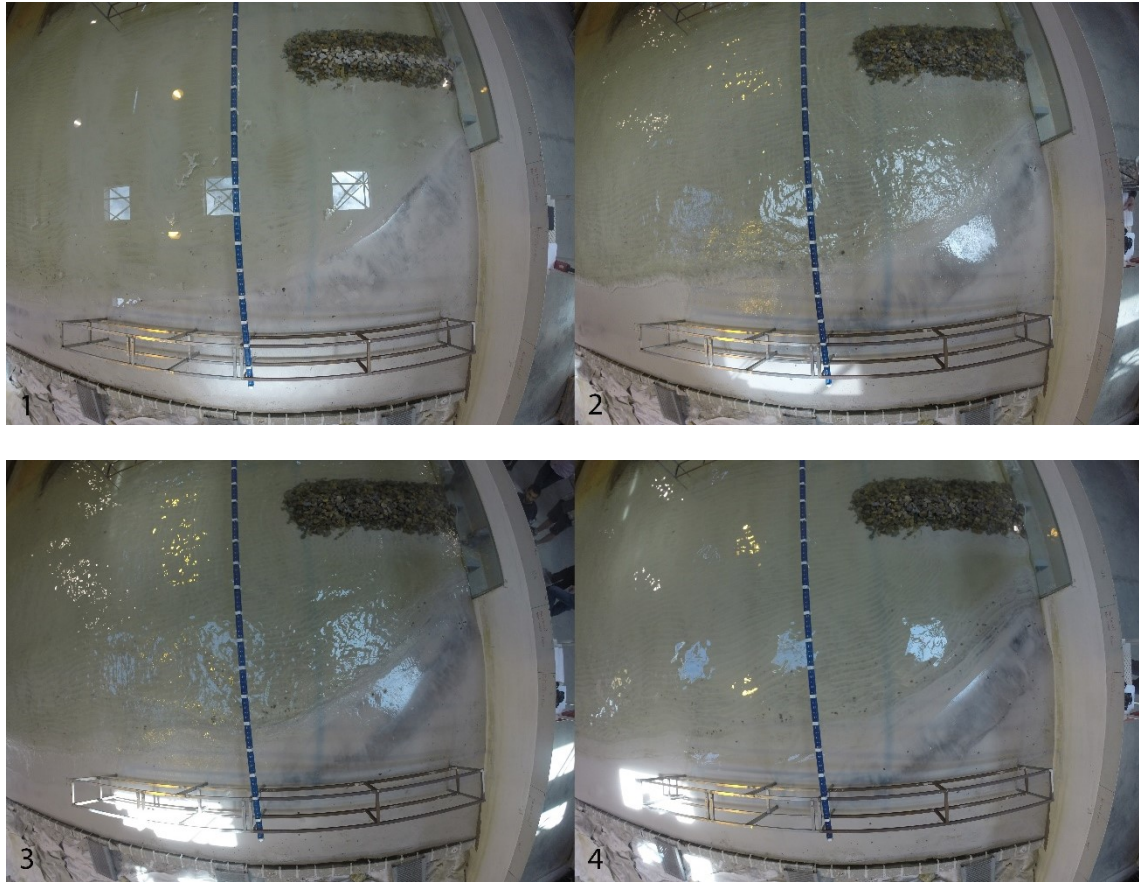


Perfis finais

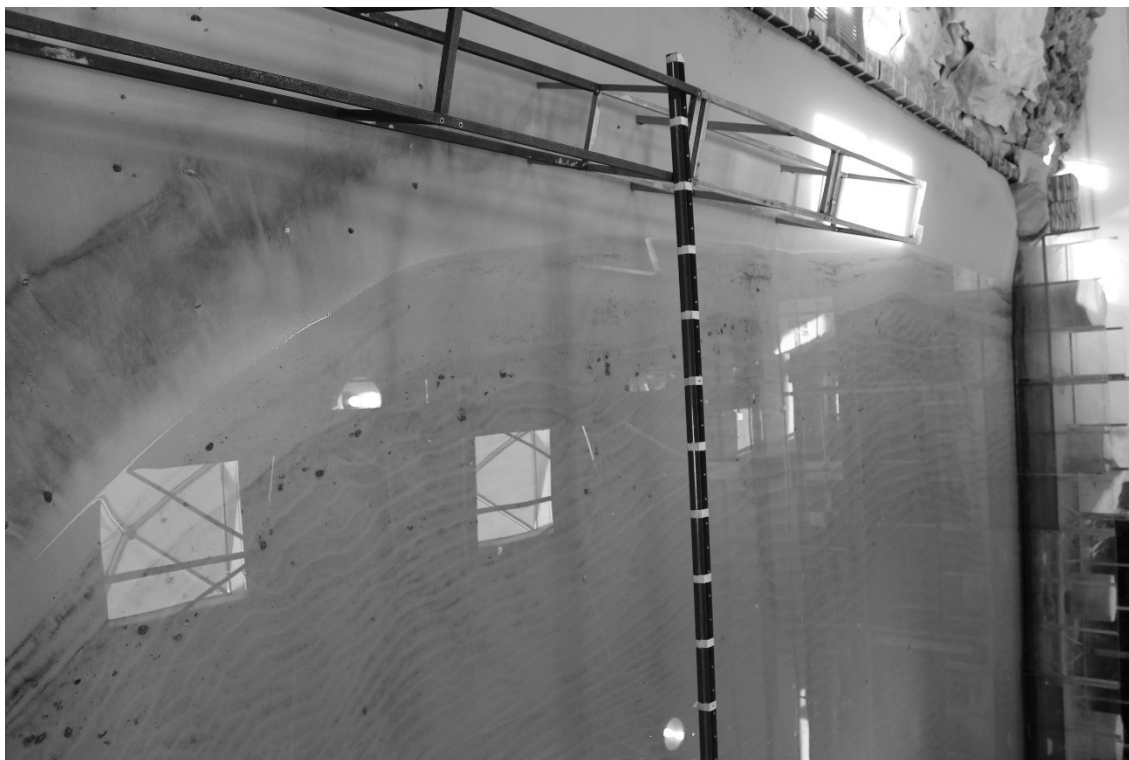
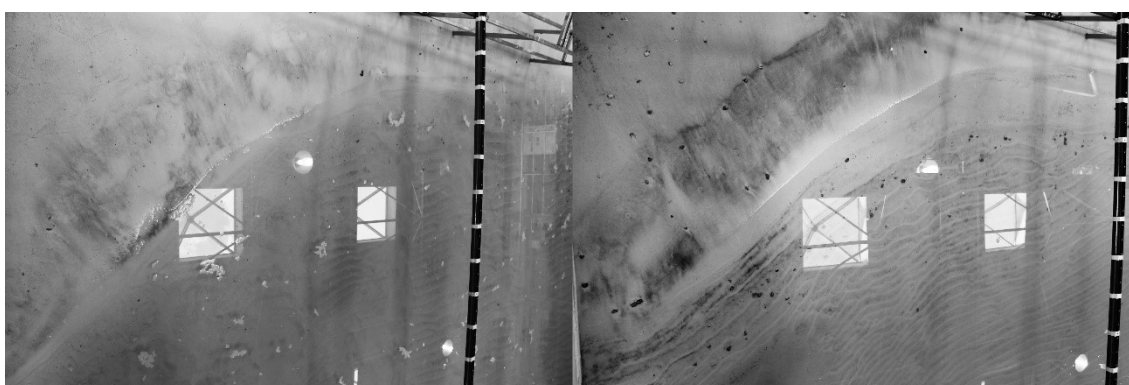
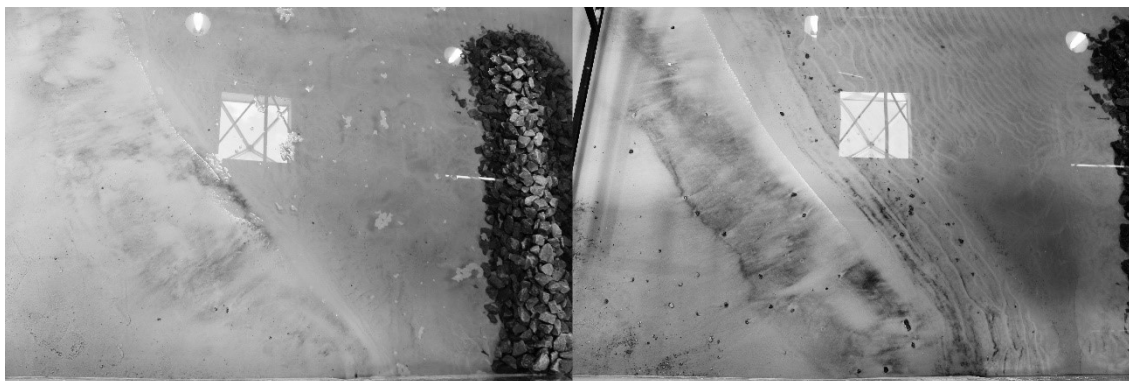


Ensaio		Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um saliente (2º)						Nº de ensaio	3
Altura de onda pretendida (cm)	8	Altura de onda medida (cm)	6.56	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Para a construção do novo saliente, com maiores dimensões do que o anterior, foram utilizados 0.35m³ de areia.									
Observações									
Antes do ensaio: <ul style="list-style-type: none">• Este saliente continua a uma distância de 1m do quebramar, mas com uma área em planta superior à área do saliente construído no ensaio anterior;• A alimentação artificial foi feita até uma distância de 4m a partir do eixo de simetria, embora quanto mais distante do eixo de simetria menor o volume aplicado nesse local;• Nesta alimentação tentou reproduzir-se a morfologia parabólica que o quebramar impôs no saliente ensaiado previamente, mas em maiores dimensões compondo assim a área adjacente ao saliente para que este se mantenha estável;• Prevê-se que este saliente não terá tendência para aumentar inexistência de caudal solido afluente, porque não se considerou transporte longitudinal neste estudo.									
Final do ensaio: <ul style="list-style-type: none">• O aumento da área do saliente, área de praia seca, permitiu uma dissipação da energia das ondas espalhadas na praia bastante eficaz, reduzindo assim significativamente a capacidade das ondas alterarem a morfologia da costa;• A extremidade do saliente recuou 0.47m para a posição -0.53m;• Houve um ajuste à morfologia da linha de costa, já que apenas foi reproduzida uma aproximação da configuração que o quebramar impõe;• Cerca de 1m da extremidade do saliente sofreram alterações significativas na altura da praia, provocadas pela grande permeabilidade do quebramar de enrocamento e também pelos efeitos de parede;• É possível observar alterações, embora de pequenas dimensões, a 5-6m do eixo de simetria;• Apesar da área emersa do saliente ter diminuído, a área total parece ter aumentado, o que pode implicar que o volume aplicado nas bermas submersas não eram suficientes para manter a estabilidade do saliente;• Quanto mais próximo da extremidade do saliente maior é a altura da plataforma e maior é a inclinação da berma da praia;• Através da observação foi notável o ajuste do saliente, porém, a areia não parece ter saído daquela zona, e houve um ajuste relativamente à altura da plataforma do saliente e das bermas submersas.									

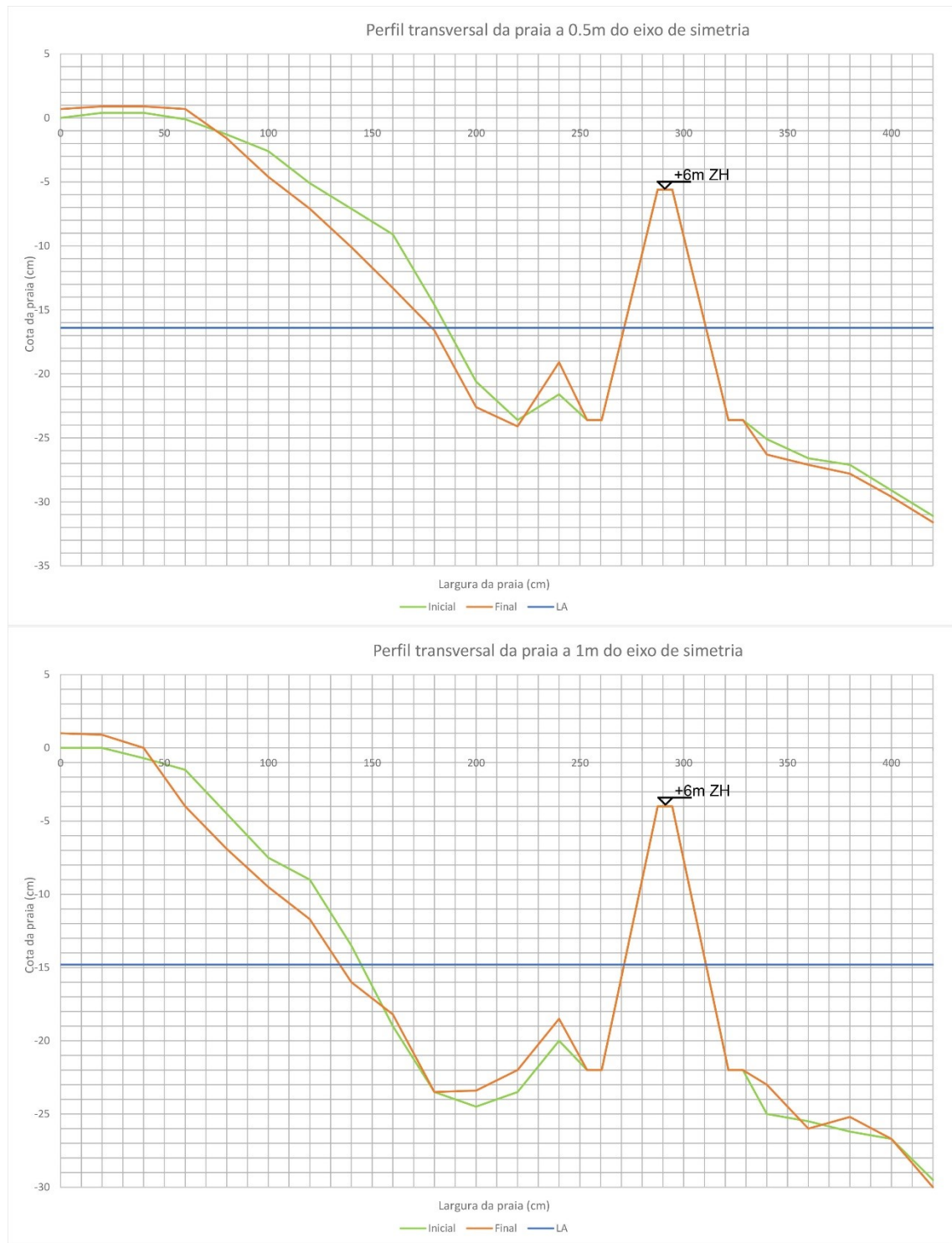
Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

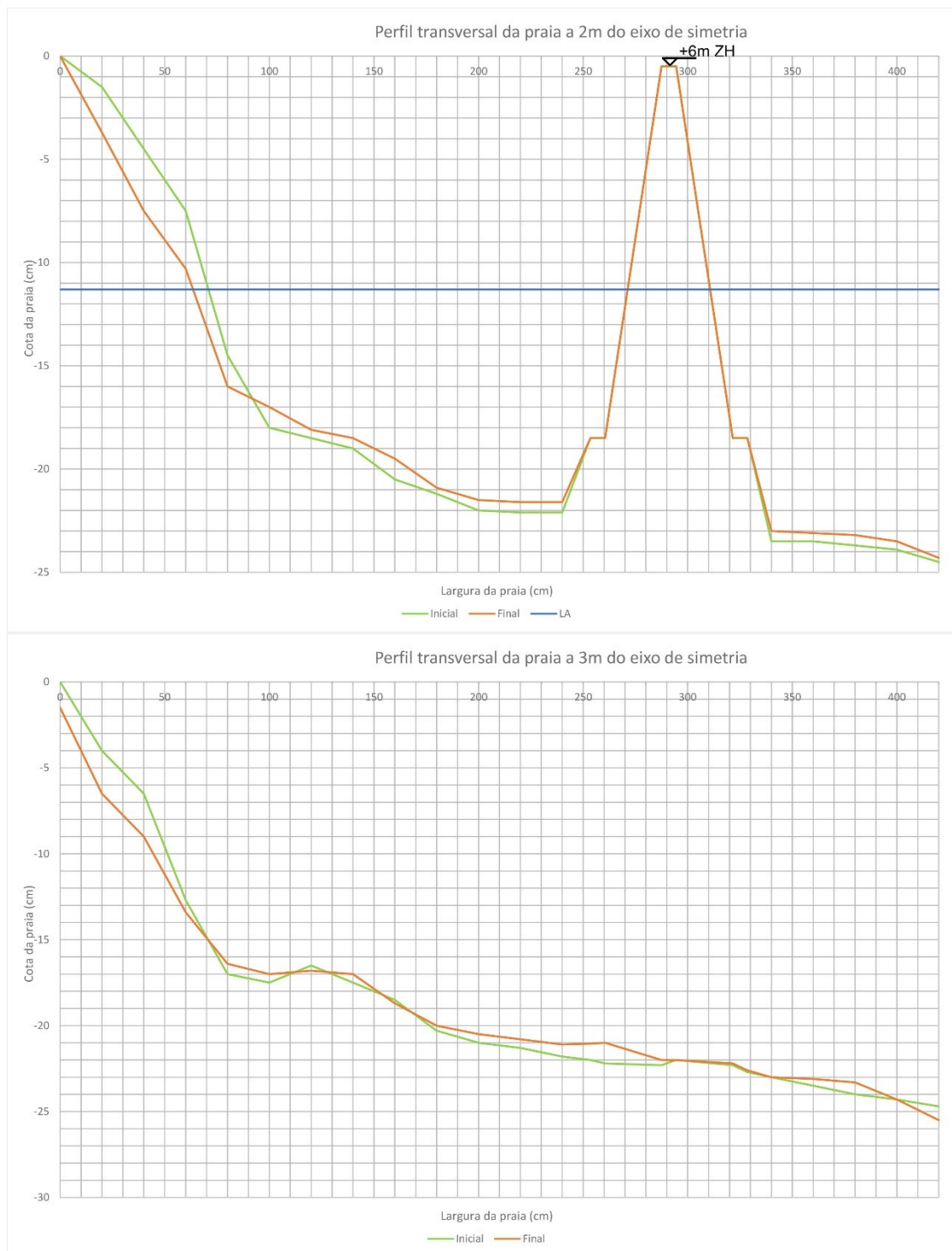


Fotografias com maior detalhe



Perfis Transversais





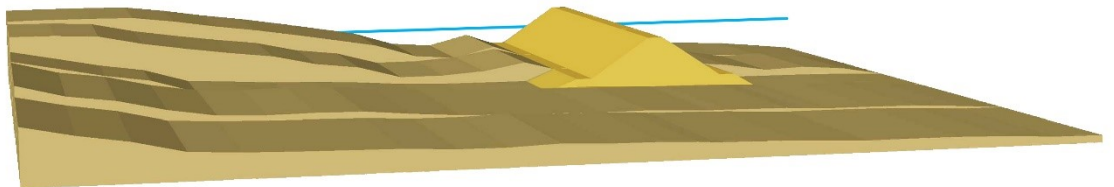


Modelo 3D

Perfis iniciais

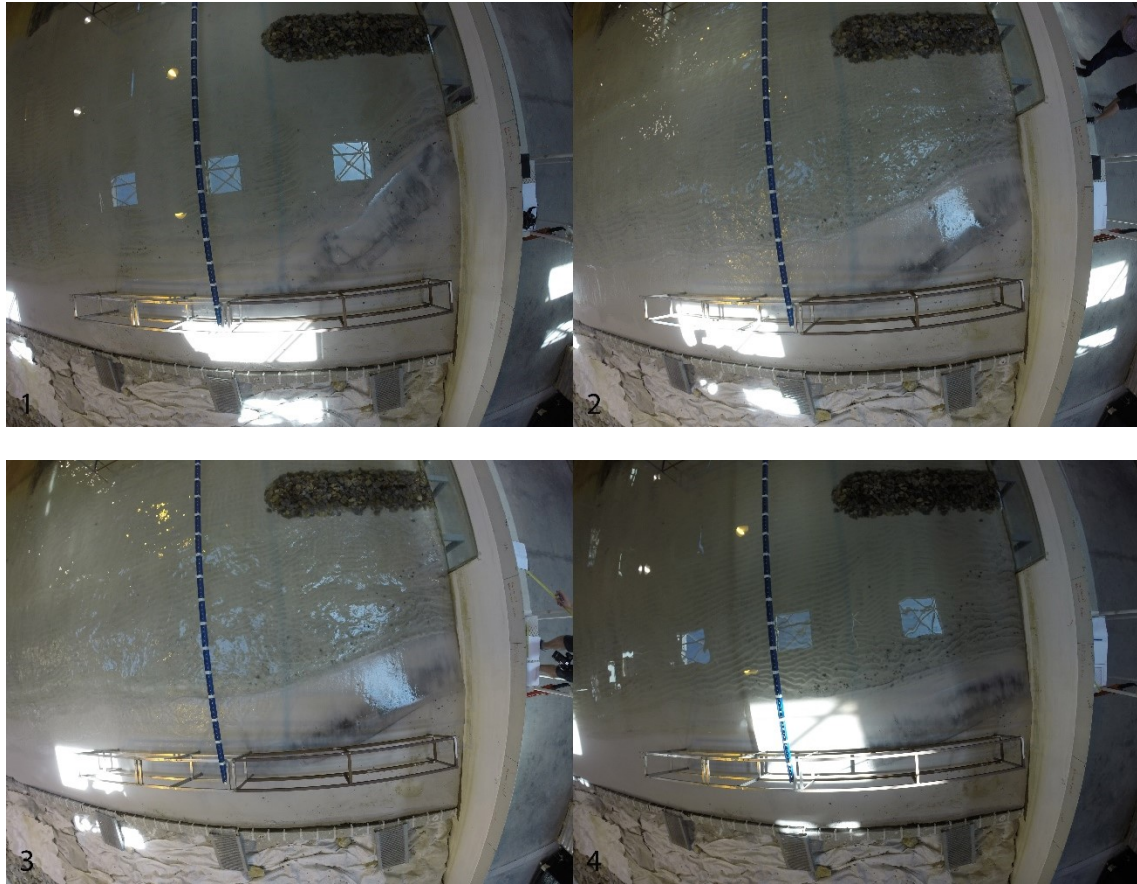


Perfis finais

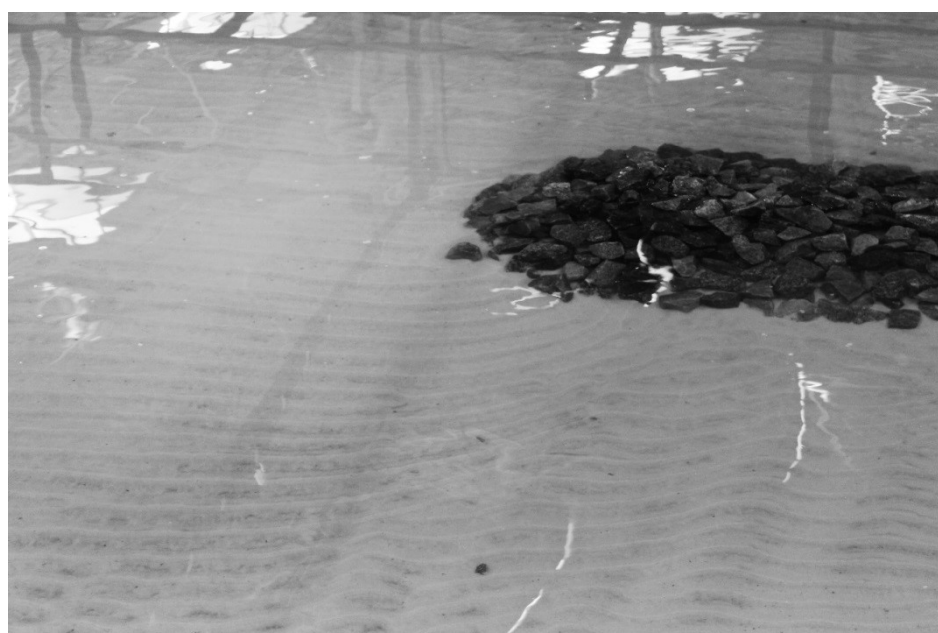
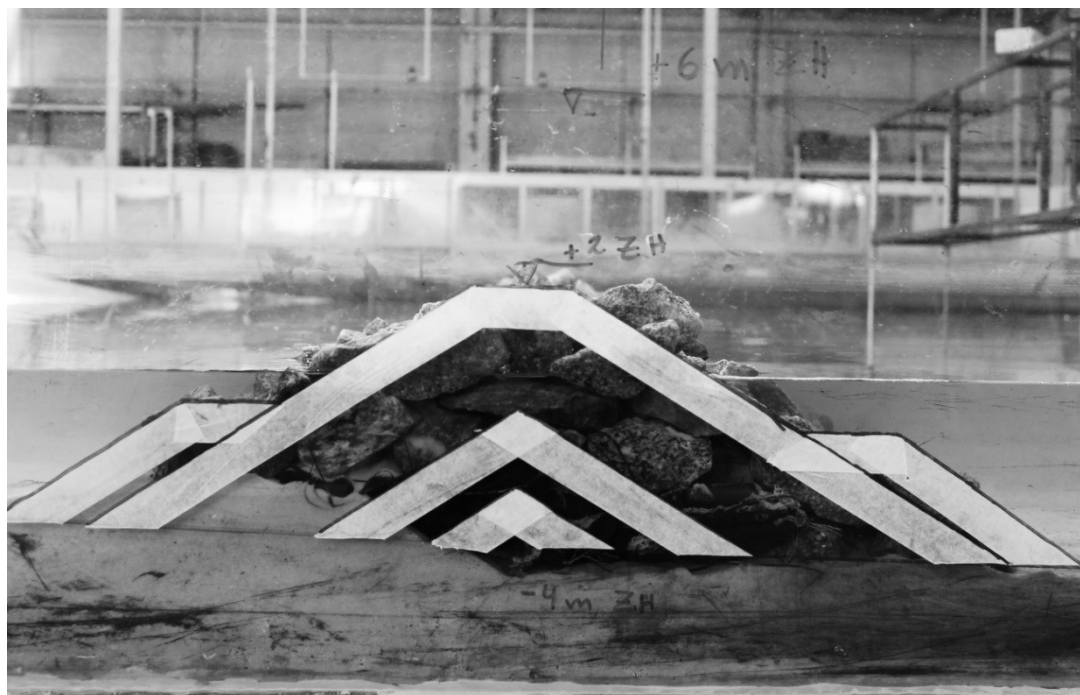
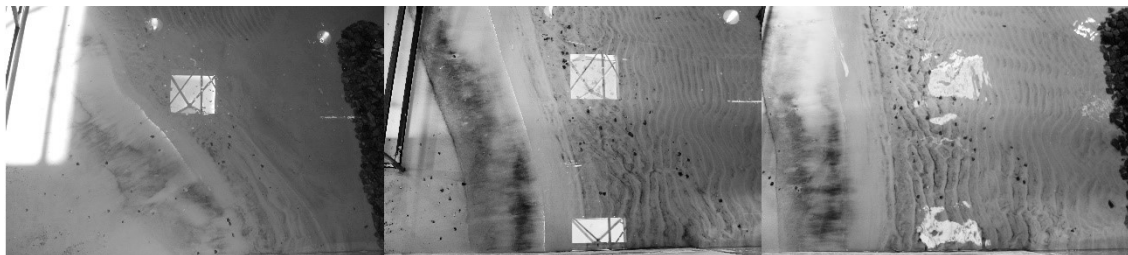


Ensaio	Quebramar destacado submerso com alimentação artificial de um saliente							Nº de ensaio	4
Altura de onda pretendida (cm)	8	Altura de onda medida (cm)	6.45	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
	8		6.41		1.97		1.90	Duração (h)	1.5
Volume de areia utilizado									
Neste ensaio não foi necessário adicionar areia, porque as dimensões do saliente foram as dimensões do saliente no final do ensaio anterior.									
Observações									
Antes do ensaio: <ul style="list-style-type: none">• Como o saliente no ensaio anterior estava em equilíbrio, em que as alterações no final do ensaio já eram pouco significativas, ao ser utilizado com uma estrutura submersa já não estará em equilíbrio;• Prevê-se que o saliente recuará visto que a estrutura é muito menos eficaz do que uma estrutura emersa.• No início do ensaio a extremidade emersa do saliente estava na posição -0.53m.									
Durante o ensaio: <ul style="list-style-type: none">• Formaram-se rugas imediatamente a sotamar do quebramar, o que mostra que a estrutura é muito menos eficaz do que o quebramar emerso, visto que durante os ensaios do quebramar emerso não surgiram estas rugas;• As rugas de difração na cabeça do quebramar são menos evidentes;• Após 30minutos de ensaio o saliente recuou até à posição 0m;• Após 45min de ensaio o saliente recuou até à posição +0.07m;• No final de 1h de ensaio a extremidade do saliente estava na posição +0.13m, e a plataforma da praia a +0.51m;									
As posições que foram sendo referidas durante o ensaio foram com base na observação e com a presença de agitação, portanto haverá sempre uma incerteza relativamente a esses valores. No final da primeira hora, face a alterações tão significativas considerou-se que seria necessário mais 30min de ensaio para garantir que a praia alcançava uma situação de equilíbrio.									
Durante a 2ª parte do ensaio: <ul style="list-style-type: none">• Após 20min de ensaio a plataforma recuou para a posição +0.61m;• As alterações mais significativas deram-se na plataforma, e as restantes alterações eram pouco significativas e algumas variavam de acordo com o ciclo;									
Final do ensaio: <ul style="list-style-type: none">• O saliente sofreu alterações muito grandes, porém, parte da areia que foi removida do saliente ficou retida pelo quebramar;• O extremo do saliente ficou na posição +0.29m e a plataforma na posição +0.64m;• A areia que foi retirada do saliente parece ter sido distribuída pela área a sotamar do quebramar;• Influência na costa pode ser observada a 3m do eixo de simetria;• Com este ensaio conclui-se que este tipo de quebramares não são tao eficientes como os quebramares destacados emersos, e não são muito eficientes quer na proteção de costa, quer na acumulação de areia nem para funcionarem como porto de pesca.									

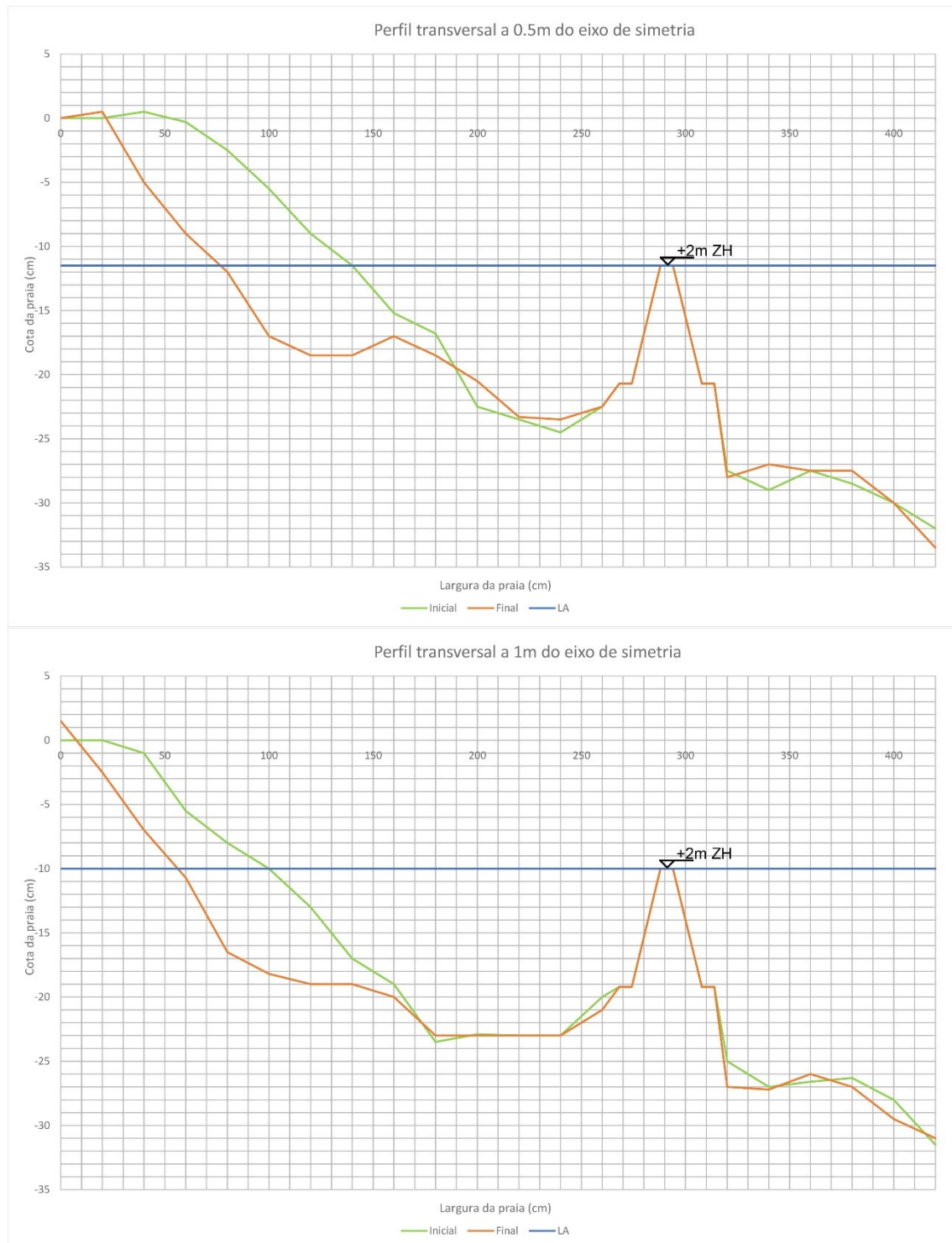
Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

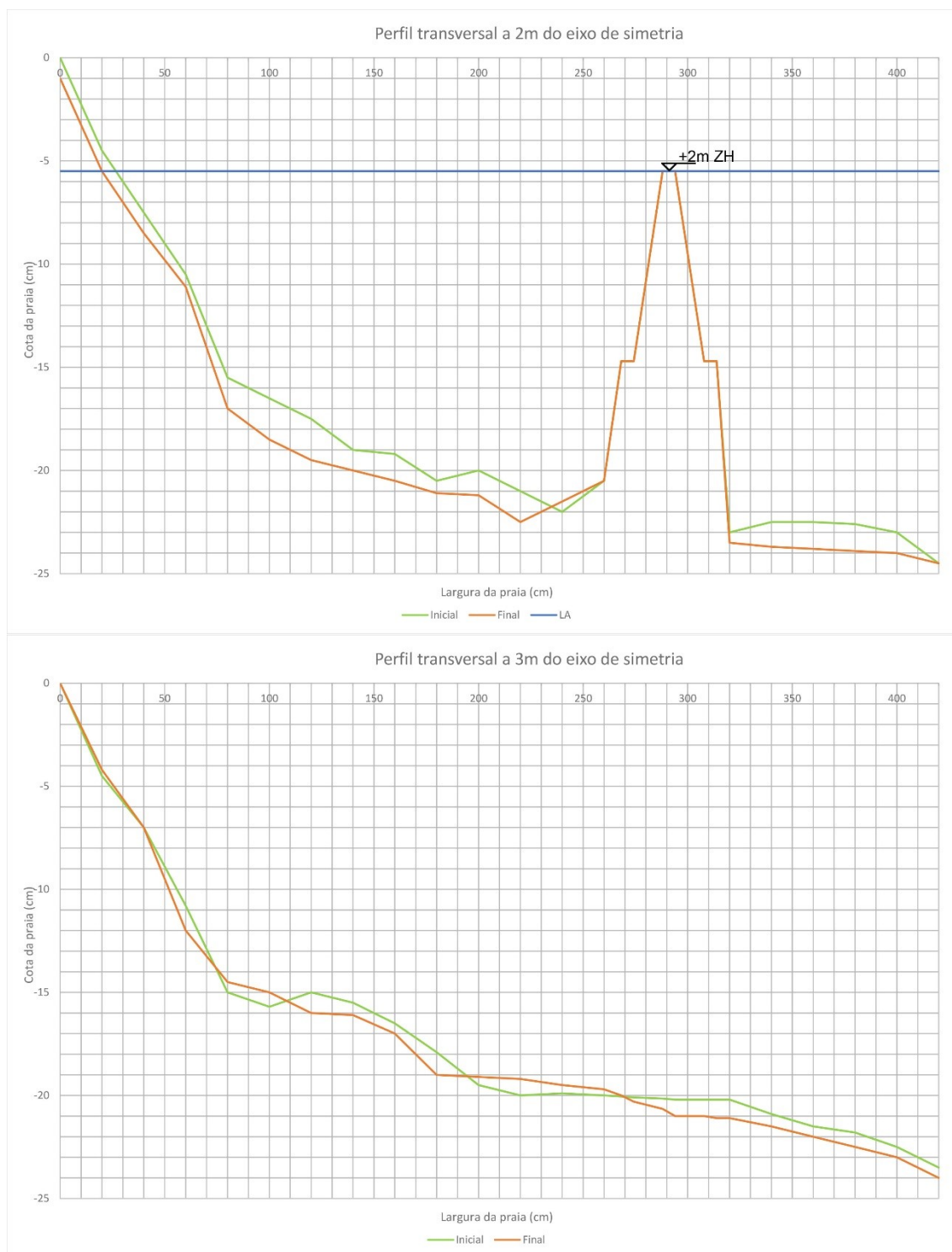


Fotografias com maior detalhe



Perfis Transversais

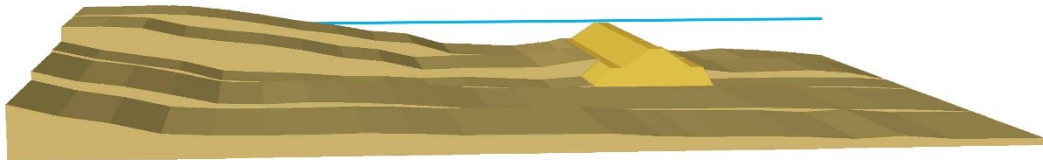




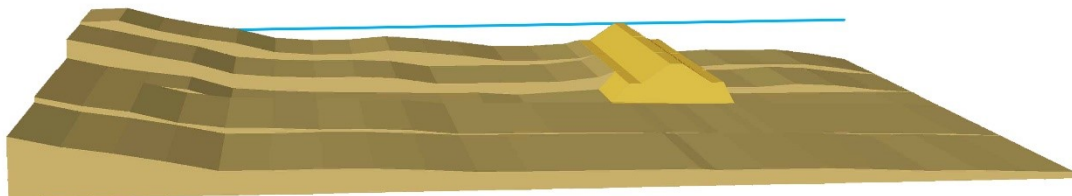


Modelo 3D

Perfis iniciais

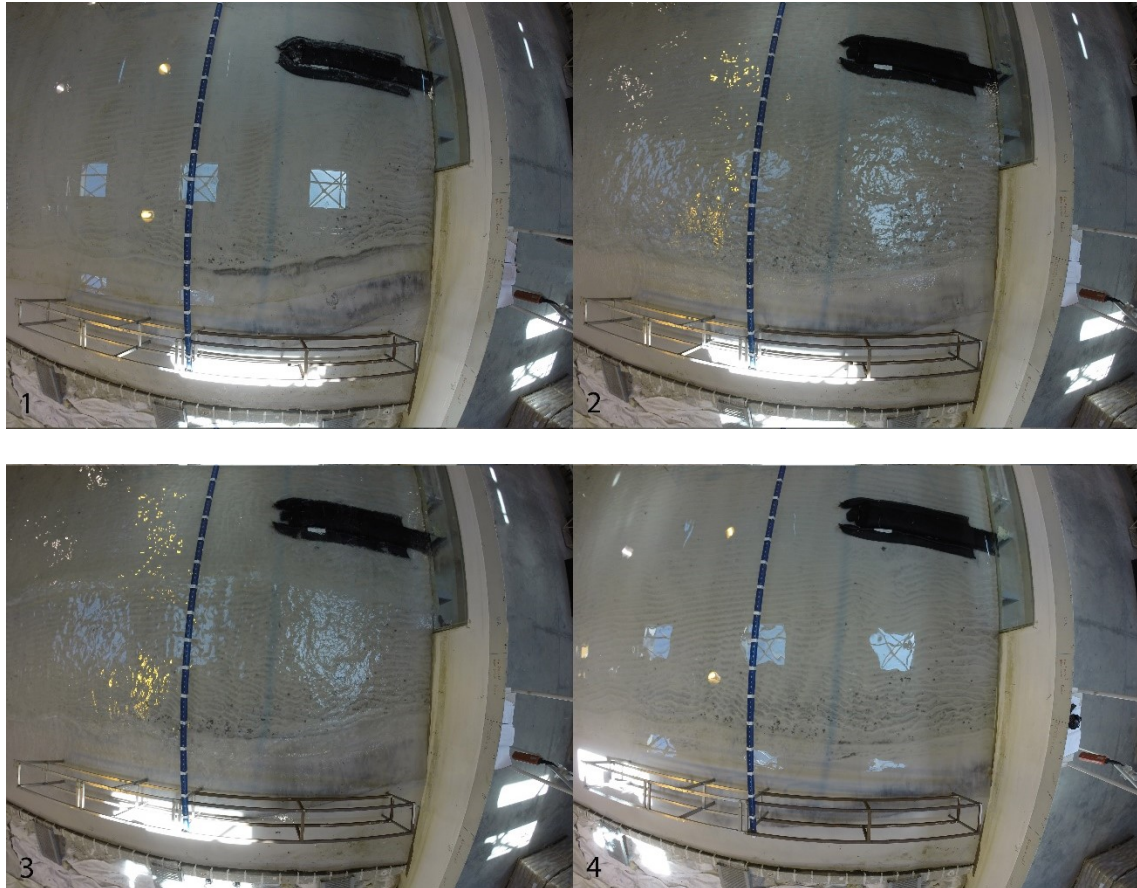


Perfis finais

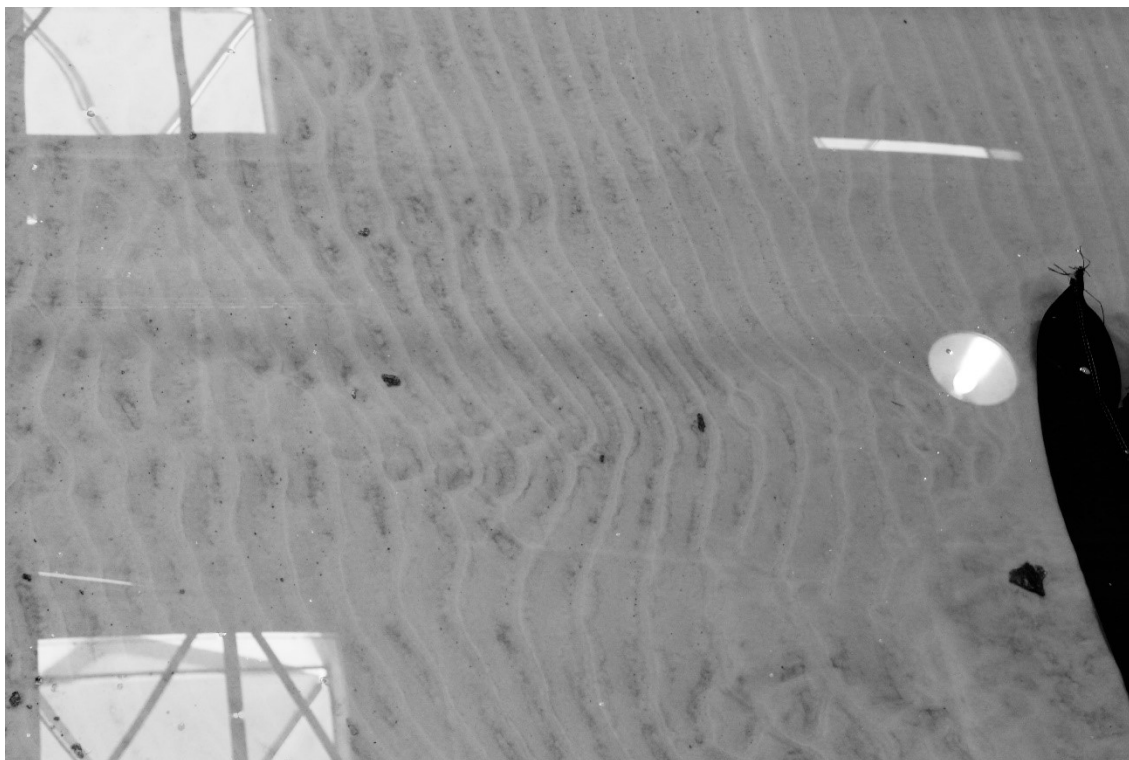
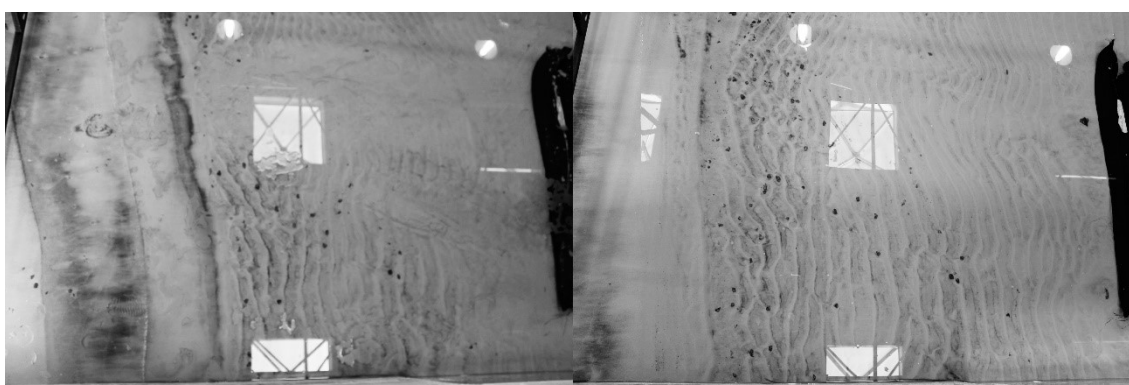


Ensaio	Quebramar destacado submerso em geossintético com alimentação artificial de um saliente							Nº de ensaio	5
Altura de onda pretendida (cm)	8	Altura de onda medida (cm)	6.66	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Neste ensaio não foi necessário adicionar areia, porque as dimensões do saliente foram as dimensões do saliente no final do ensaio anterior.									
Observações									
<p>Antes do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O saliente utilizado foi o saliente que ficou em equilíbrio no ensaio anterior; • Neste ensaio espera-se que o saliente recue ainda mais do que no ensaio anterior, já que a cota de coroamento é inferior; • A extremidade do saliente encontra-se na posição +0.29m e a plataforma na posição +0.64m. <p>Durante o ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Após 20min de ensaio a plataforma recuou para a posição +0.84m; • As rugas de difração junto à cabeça do quebramar não são perceptíveis; • Pela observação da rebentação das ondas, o quebramar pareceu ser benéfico para a otimização de ondas prática de surf; • Após 45min de ensaio apenas é notável a presença de uma plataforma até cerca de 2.5m do eixo de simetria; • Após 45min de ensaio a plataforma recuou até à posição +0.92m. <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • As rugas formadas a sotamar do quebramar são bastante evidentes; • Esta estrutura demonstrou-se muito pouco eficiente na proteção da costa; • A plataforma ficou na posição +1m e a extremidade do saliente na posição +0.56m. 									

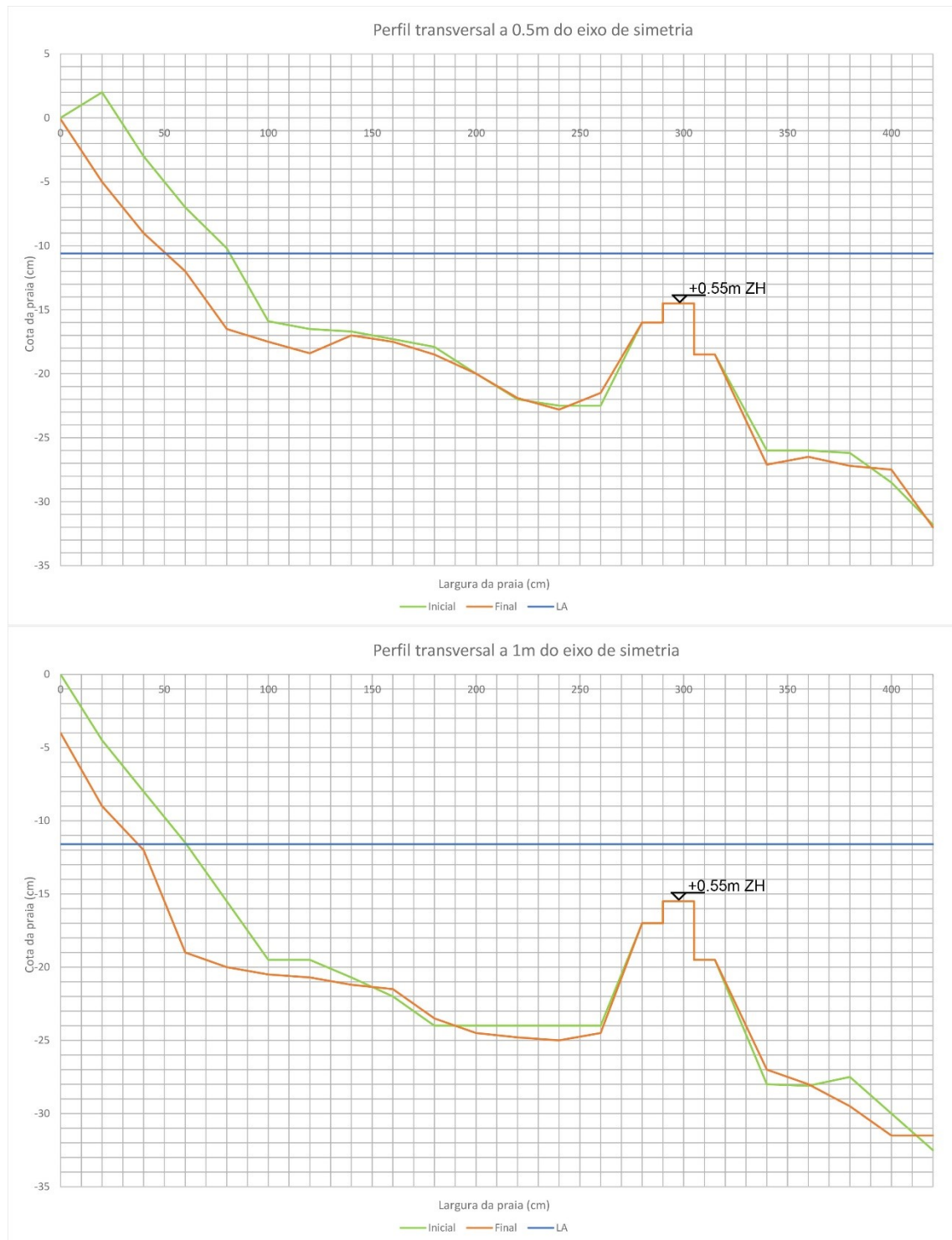
Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

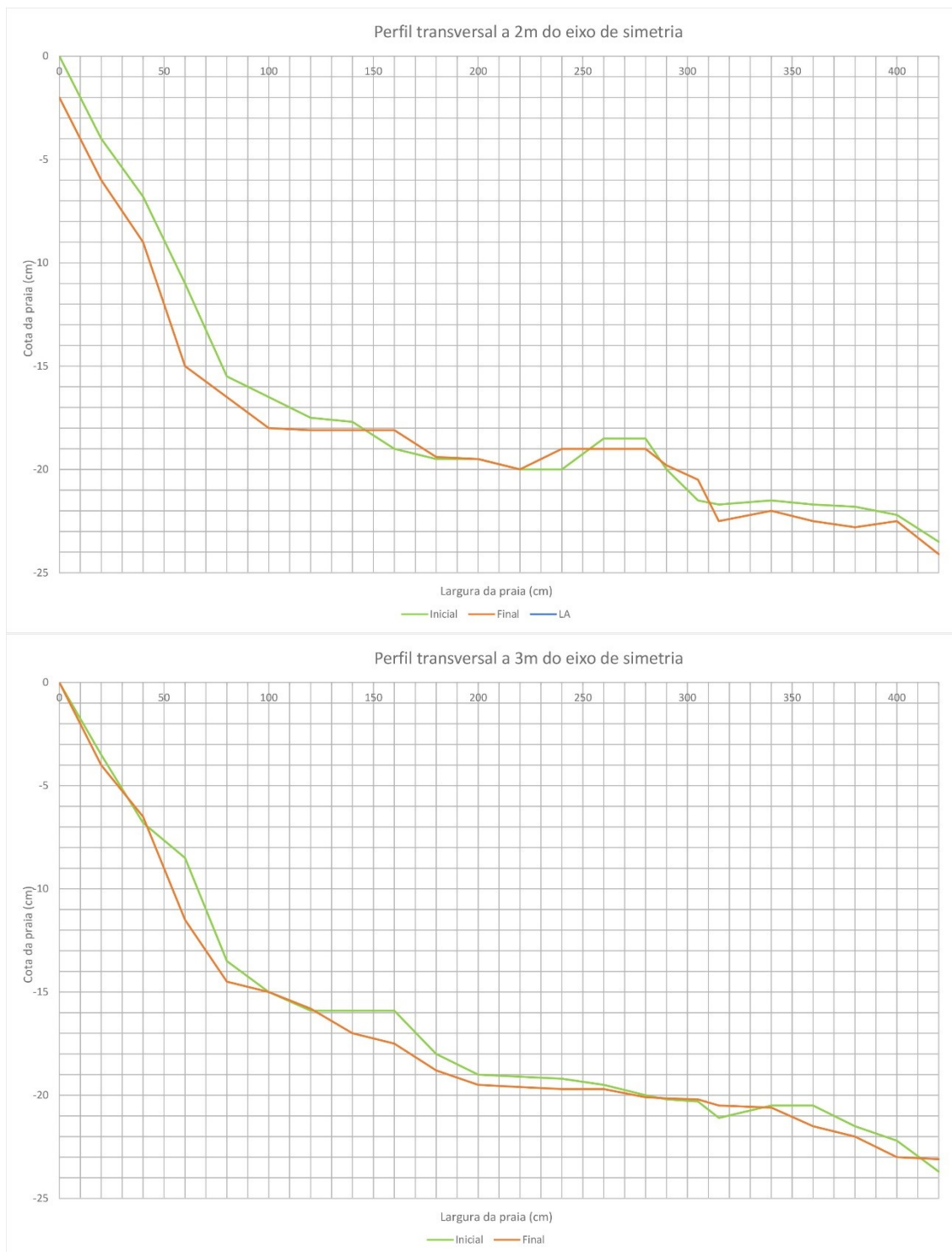


Fotografias com maior detalhe



Perfis Transversais

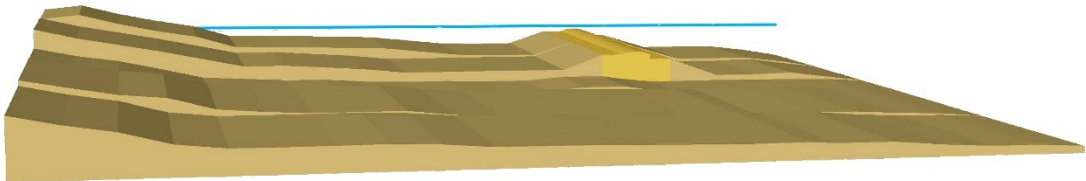




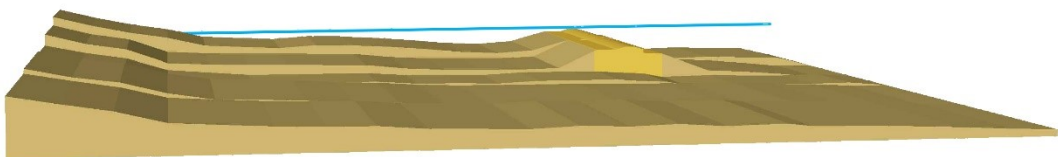


Modelo 3D

Perfis iniciais



Perfis finais

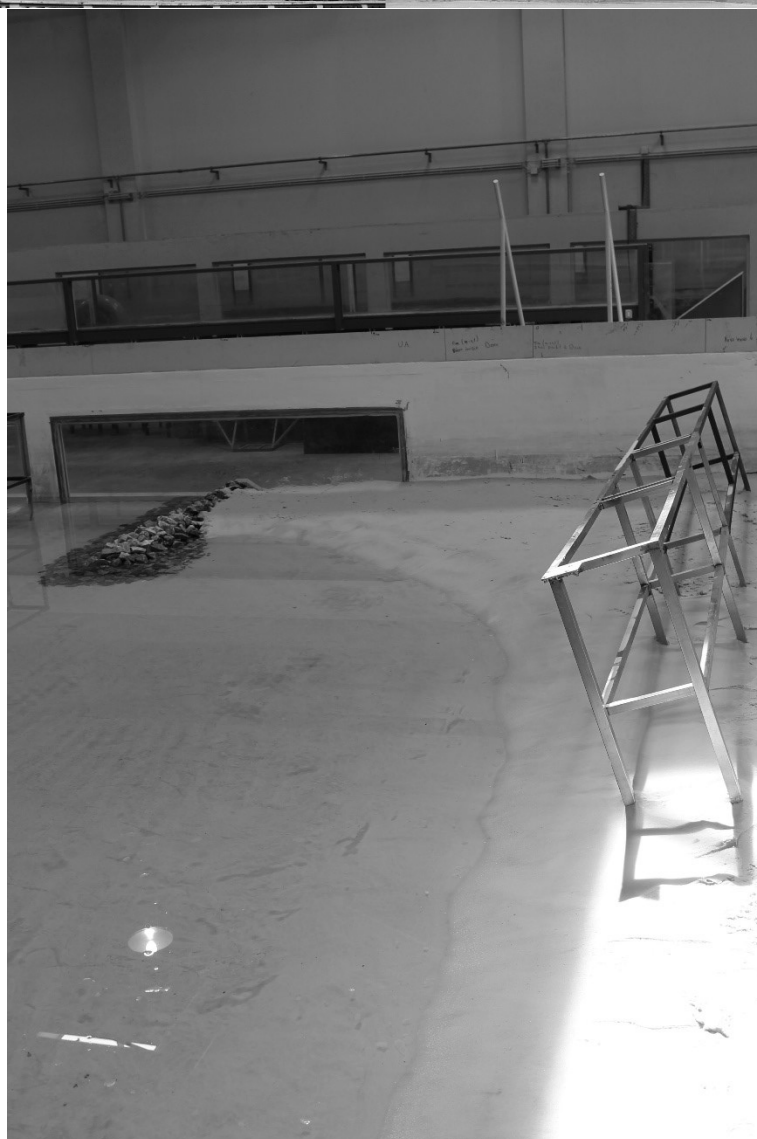
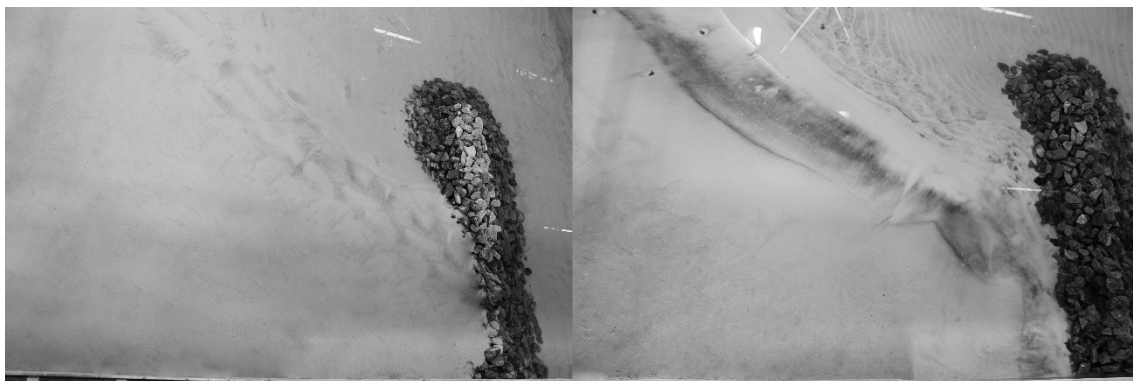


Ensaio	Quebramar destacado emerso com alimentação artificial de um tómbolo							Nº de ensaio	6
Altura de onda pretendida (cm)	8.00	Altura de onda medida (cm)	6.54	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Para a reprodução de um tómbolo com as dimensões obtidas pelos métodos de dimensionamento hidráulico foram necessários cerca de 1.3m ³ .									
Observações									
<p>Antes do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largura do tómbolo na posição 0 = 2.16m; • Largura do tómbolo na posição -1 = 1.22m; • Largura do tómbolo na posição -2 = 1.08m; • Neste ensaio era espectável alguma erosão do tómbolo, que seria na verdade um ajustamento da morfologia do tómbolo devido às ondas difratadas na cabeça do quebramar e porque a alimentação feita não corresponde exatamente ao tómbolo que esta estrutura criaria. <p>Durante o ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • As alterações mais significativas deram-se nos primeiros 15 a 20min do ensaio; • Formou-se uma fossa de erosão devido aos galgamentos; • As ondas que galgam o quebramar dissipam-se totalmente no tómbolo não interferindo assim com as ondas difratadas na cabeça do quebramar, sendo estas bastante notáveis neste ensaio; • Alguma da areia perdida no tómbolo junto ao quebramar foi arrastada para o manto exposto interior do quebramar para preencher os vazios do mesmo. <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largura do tómbolo na posição 0 = 1.80m; • Largura do tómbolo na posição -1 = 1.10m; • Largura do tómbolo na posição -2 = 77cm; • A área do tómbolo reduziu, porque com o decorrer do ensaio as ondas que galgavam o quebramar e que se difratavam na cabeça do quebramar foram moldando a linha de costa para uma situação de equilíbrio; • O tómbolo manteve-se estável e foi bastante eficiente na dissipação da energia das ondas. 									

Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

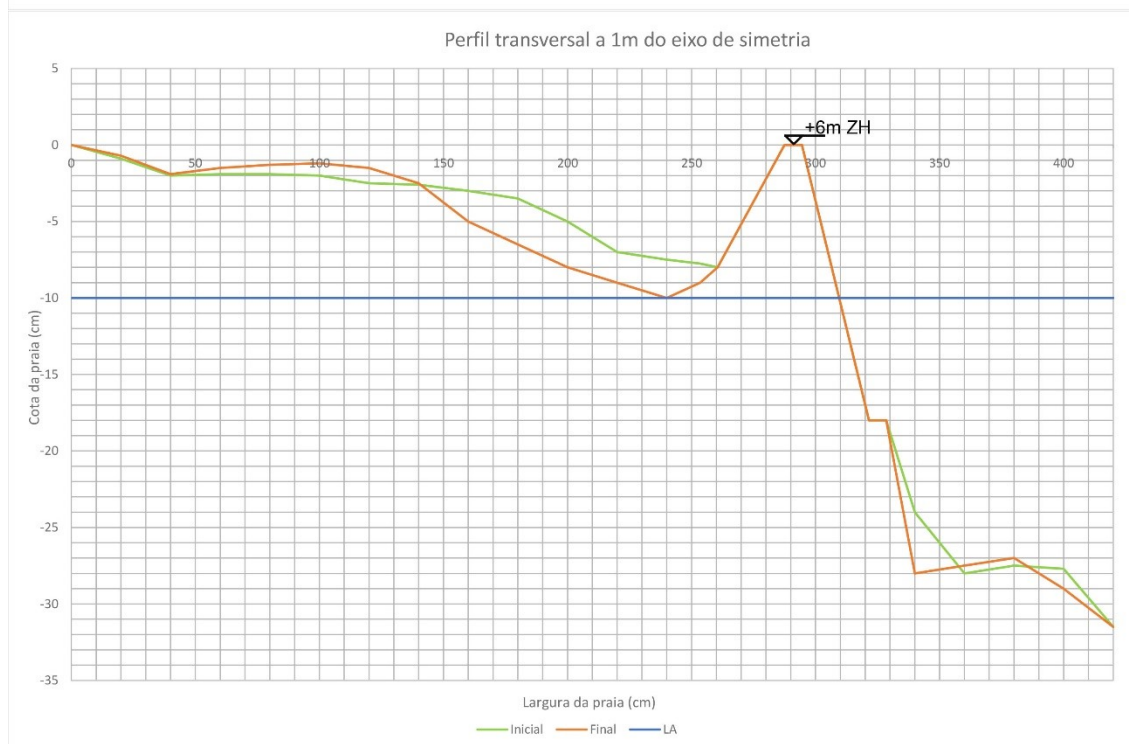
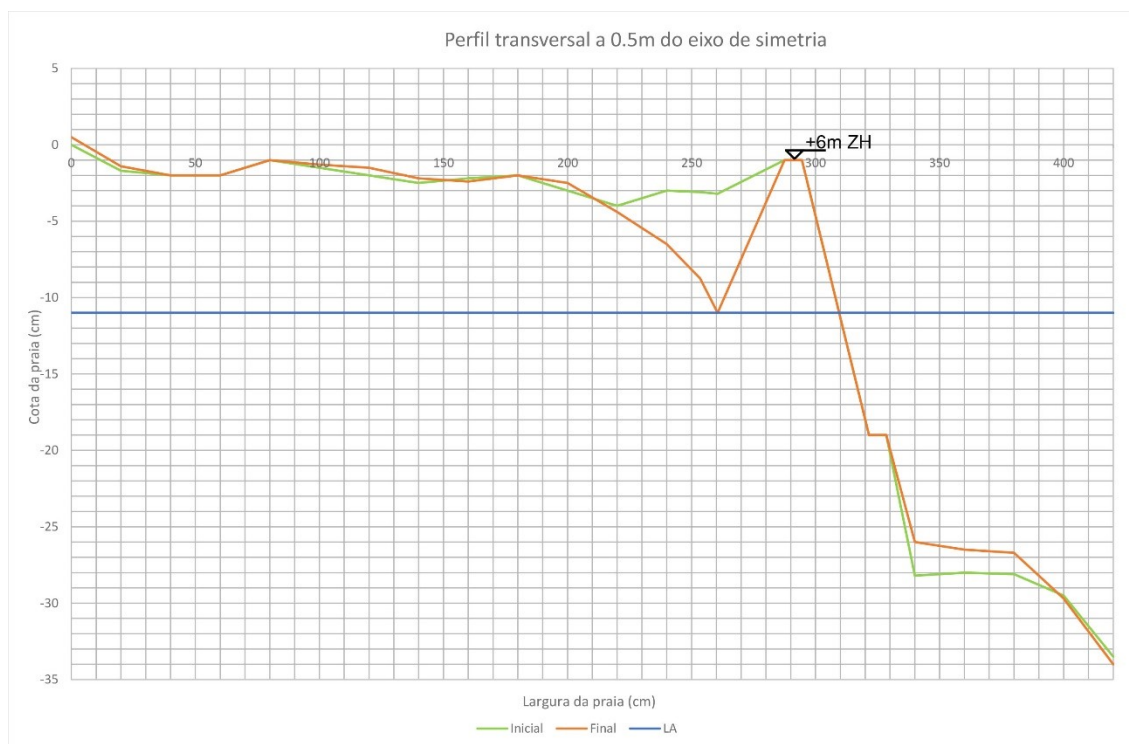


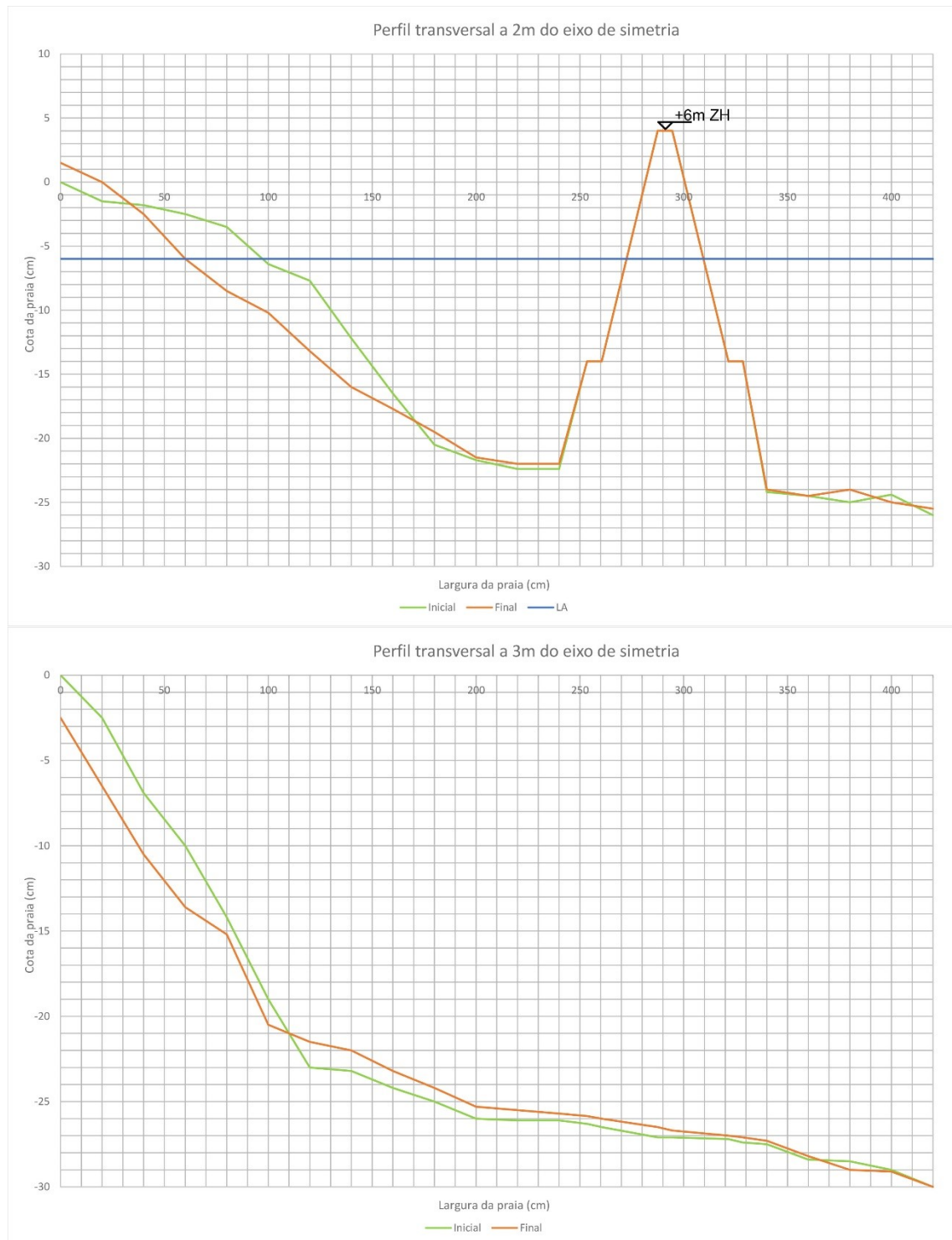
Fotografias com maior detalhe





Perfis Transversais

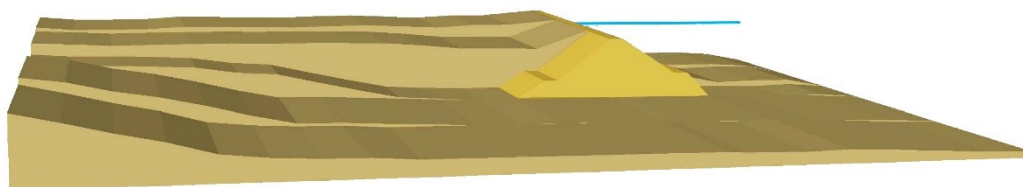






Modelo 3D

Perfis iniciais

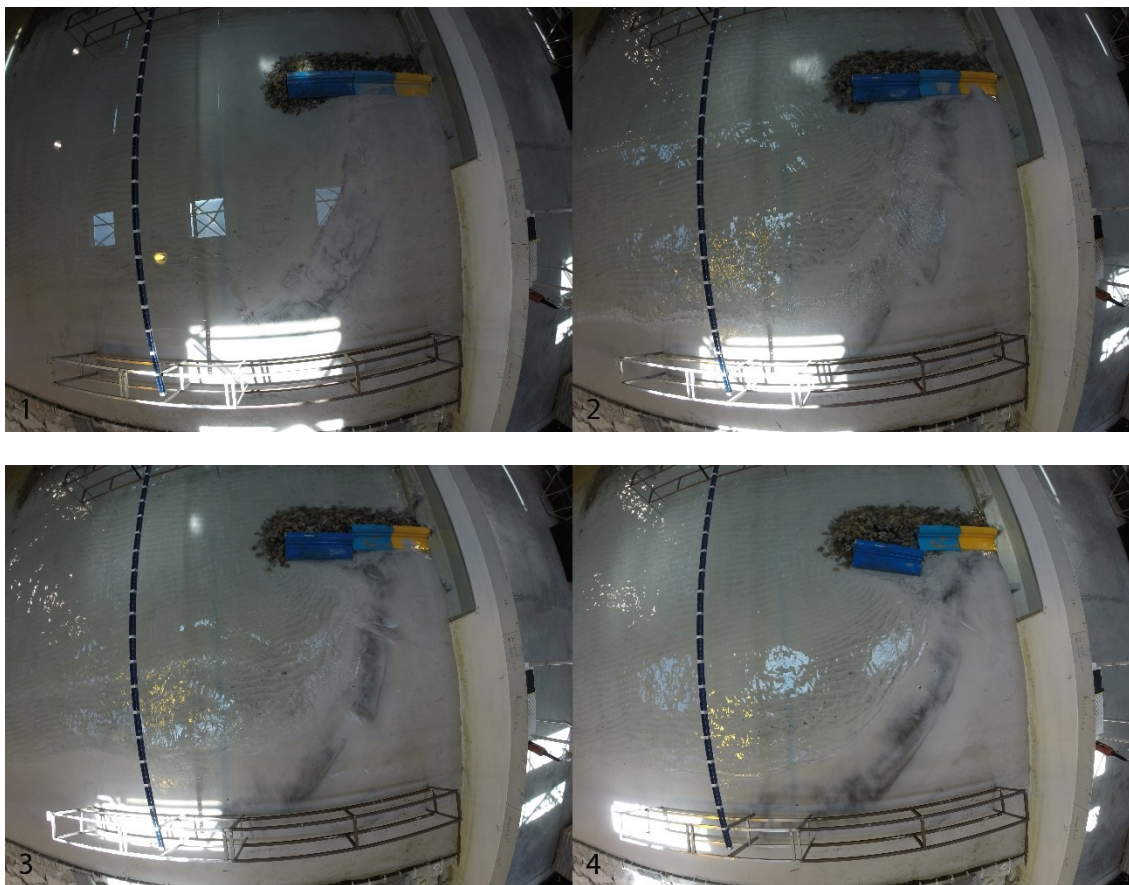


Perfis finais

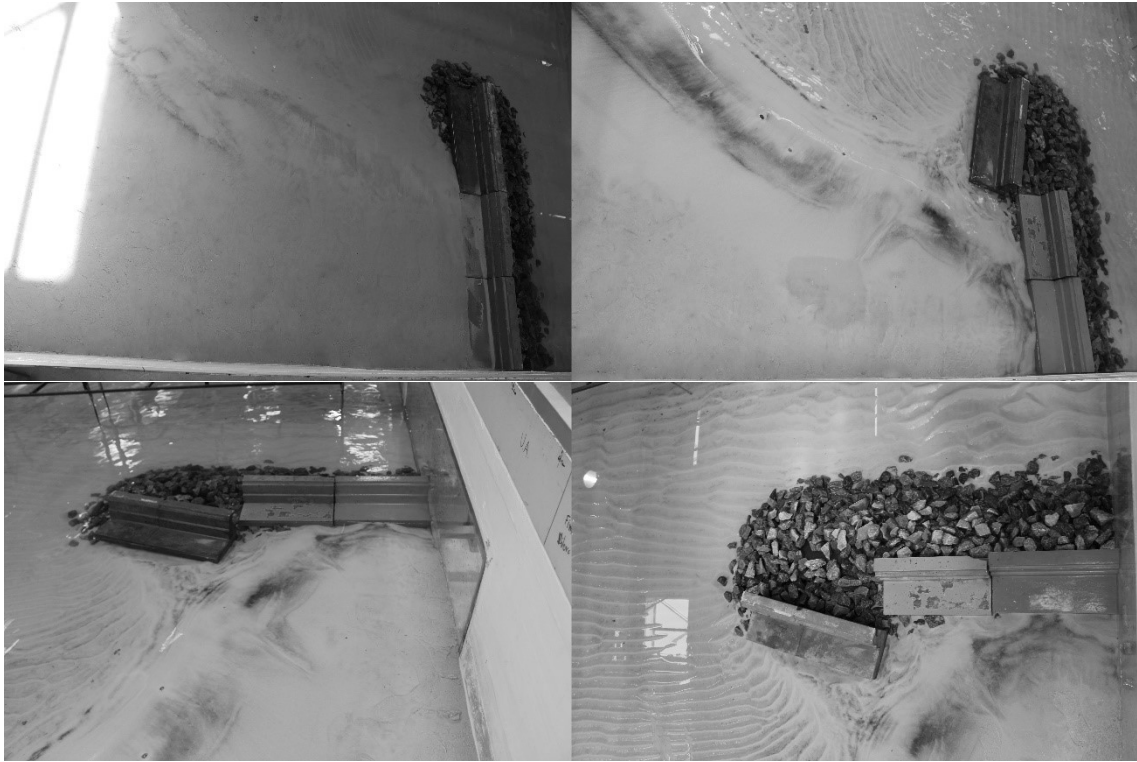


Ensaio	Quebramar destacado emerso com superestrutura e com alimentação artificial de um tómbolo							Nº de ensaio	7
Altura de onda pretendida (cm)	8.00	Altura de onda medida (cm)	6.88	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Foi utilizado um volume de cerca de 0.07m^3 , utilizado para compor o tómbolo, nomeadamente a fossa de erosão e aumentar a linha de costa na zona do tómbolo.									
Observações									
<p>Antes do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largura do tómbolo na posição 0 = 1.83m; • Largura do tómbolo na posição -1 = 1.29m; • Largura do tómbolo na posição -2 = 1.06m; • Neste ensaio esperava-se que os galgamentos fossem muito inferiores, quando comparados com os galgamentos no ensaio anterior, e que o tómbolo apresentasse maior estabilidade. <p>Durante o ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como a superestrutura não é uma peça monolítica e não estava encaixada como deveria estar numa estrutura em protótipo, observaram-se entradas de água através das juntas entre as superestruturas que provocaram alguma erosão local; • A utilização da superestrutura reduziu significativamente a permeabilidade do quebramar, e o número de ondas que galgaram o quebramar foi muito inferior comparando com o ensaio nº6; • Durante o ensaio, a superestrutura mais perto da cabeça do quebramar apresentou alguma instabilidade, quando as ondas maiores incidiam na superestrutura esta deslocava-se, isto porque parte da superestrutura não estava bem apoiada e o facto de ter um maior comprimento também agravou este efeito já que o impulso aplicado é superior; • Junto à parede também se observou a entrada de água, sendo um erro provocado pela utilização da simetria no modelo; • Algumas ondas são refletidas quase na totalidade pelo muro defletor da superestrutura; • Após o deslocamento da superestrutura mais perto da cabeça, as ondas que incidiam na superestrutura eram direcionadas para o tómbolo, o que removeu alguma areia junto ao quebramar, areia essa que se acumulou atrás dessa mesma superestrutura. <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Largura do tómbolo na posição 0 = 1.55m; • Largura do tómbolo na posição -1 = 1.03m; • Largura do tómbolo na posição -2 = 66m; • O deslocamento da superestrutura alterou significativamente o resultado do ensaio junto ao quebramar; • Deveria ter sido feito um prisma de fundação pedras mais pequenas para que a superestrutura estivesse melhor assente, mas como este foi um ensaio extra que não estava planeado, as superestruturas foram colocadas sobre o quebramar utilizado no ensaio nº6, apenas foram removidas pedras do talude interior e do coroamento para permitir a colocação das superestruturas sobre o quebramar; • O quebramar apresentou melhor eficácia na proteção da costa, as alterações mais significativas observadas foram junto ao quebramar. 									

Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

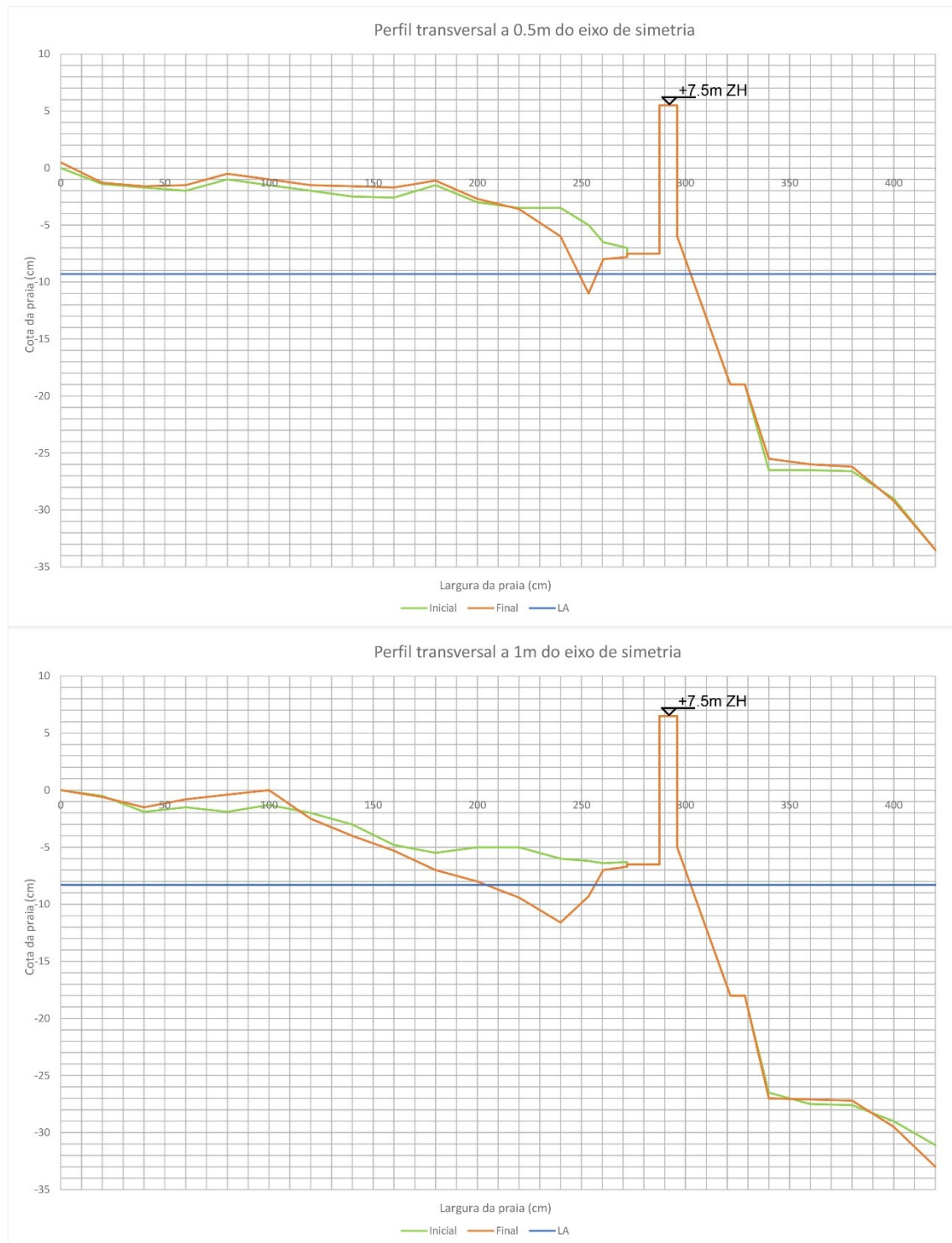


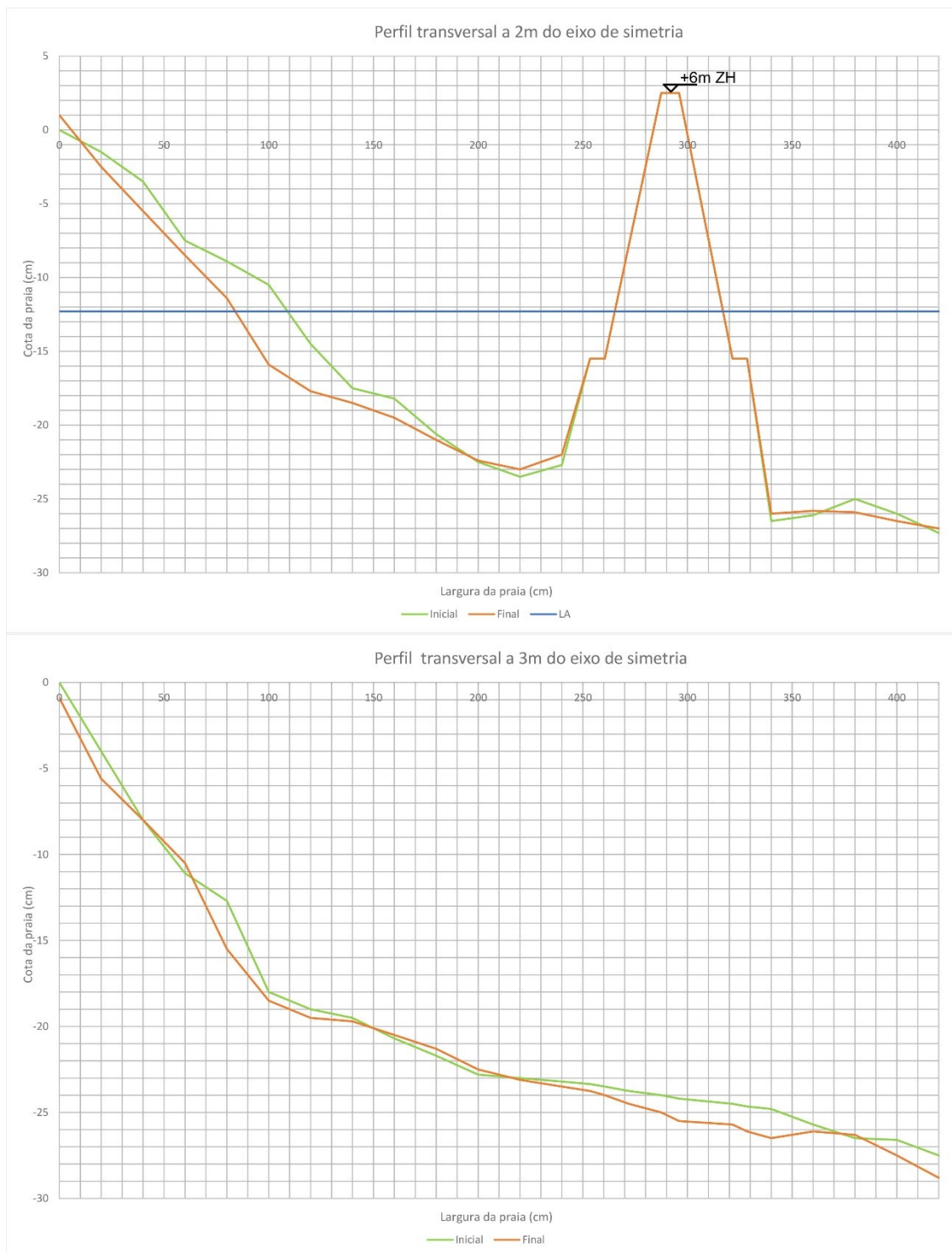
Fotografias de detalhe

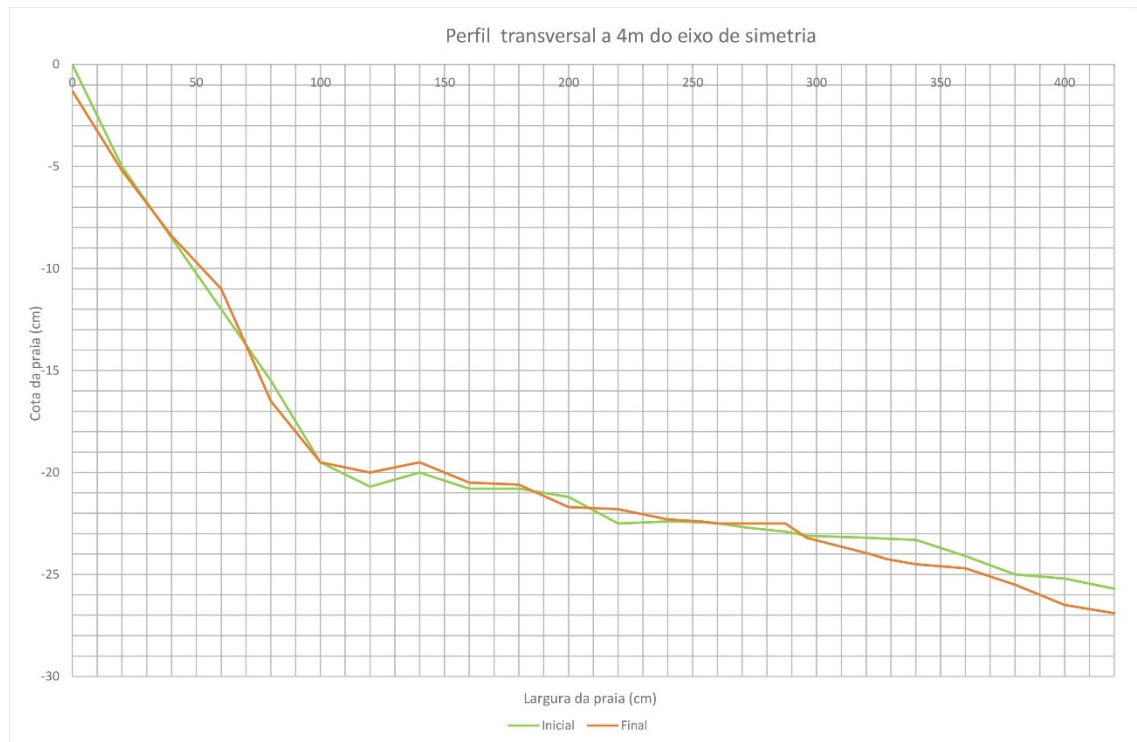




Perfis Transversais

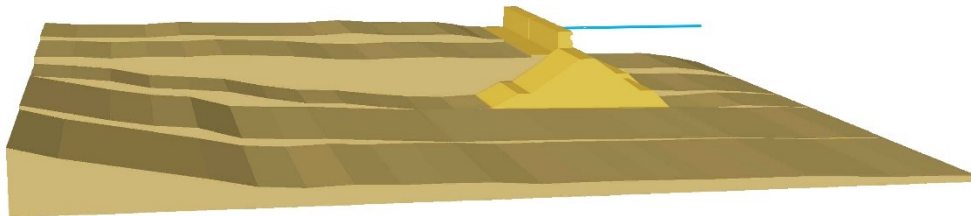




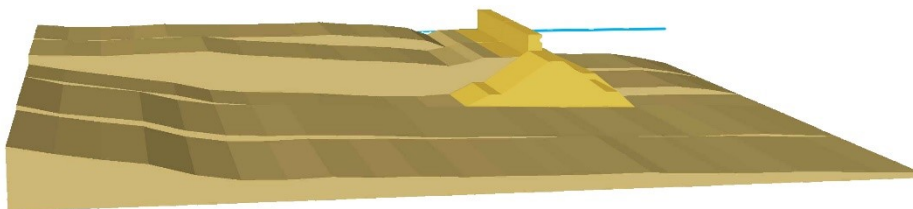


Modelo 3D

Perfis iniciais

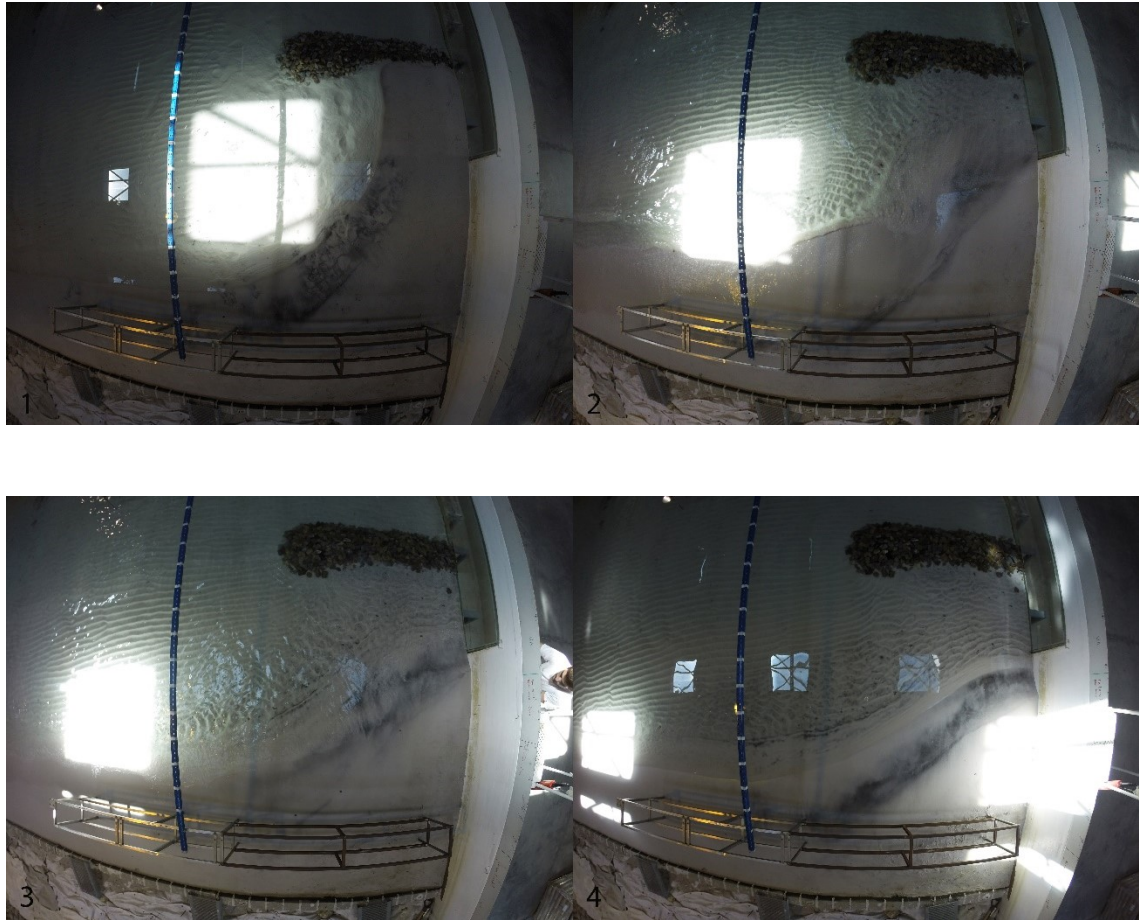


Perfis finais



Ensaio	Quebramar destacado submerso com alimentação artificial de um tómbolo							Nº de ensaio	8
Altura de onda pretendida (cm)	8.00	Altura de onda medida (cm)	6.54	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Foram utilizados cerca de 0.1m ³ de areia para recompor o tómbolo.									
Observações									
<p>Antes do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> Neste ensaio espera-se que o tómbolo não se mantenha estável e se forme assim um saliente; Largura do tómbolo na posição 0 = 1.52m; Largura do tómbolo na posição -1 = 0.98m; Largura do tómbolo na posição -2 = 0.95m; <p>Durante o ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> Durante os primeiros 10min de ensaio houve uma variação muito significativa na extremidade do tómbolo; Após 10min de ensaio verificou-se um recuo muito significativo da plataforma, e a areia junto ao quebramar, embora submersa, ficou retida junto ao quebramar; Aos 20min é clara a inexistência de um tómbolo, tendo-se formado um saliente; As ondas que galgam o quebramar, ao espriarem-se em seguida na praia são direccionadas para o exterior da zona abrigada pelo quebramar, formando-se uma corrente longitudinal arrastando os sedimentos do tómbolo para a área adjacente. <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> Largura do tómbolo na posição 0 = 1.65m; Extremidade do saliente na posição -0.77m; Os sedimentos que constituíam o tómbolo foram arrastados para a área adjacente formando assim um saliente, parte desses sedimentos foi arrastado para barlamar e outra parte ficou retida pelo quebramar a sotamar. 									

Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

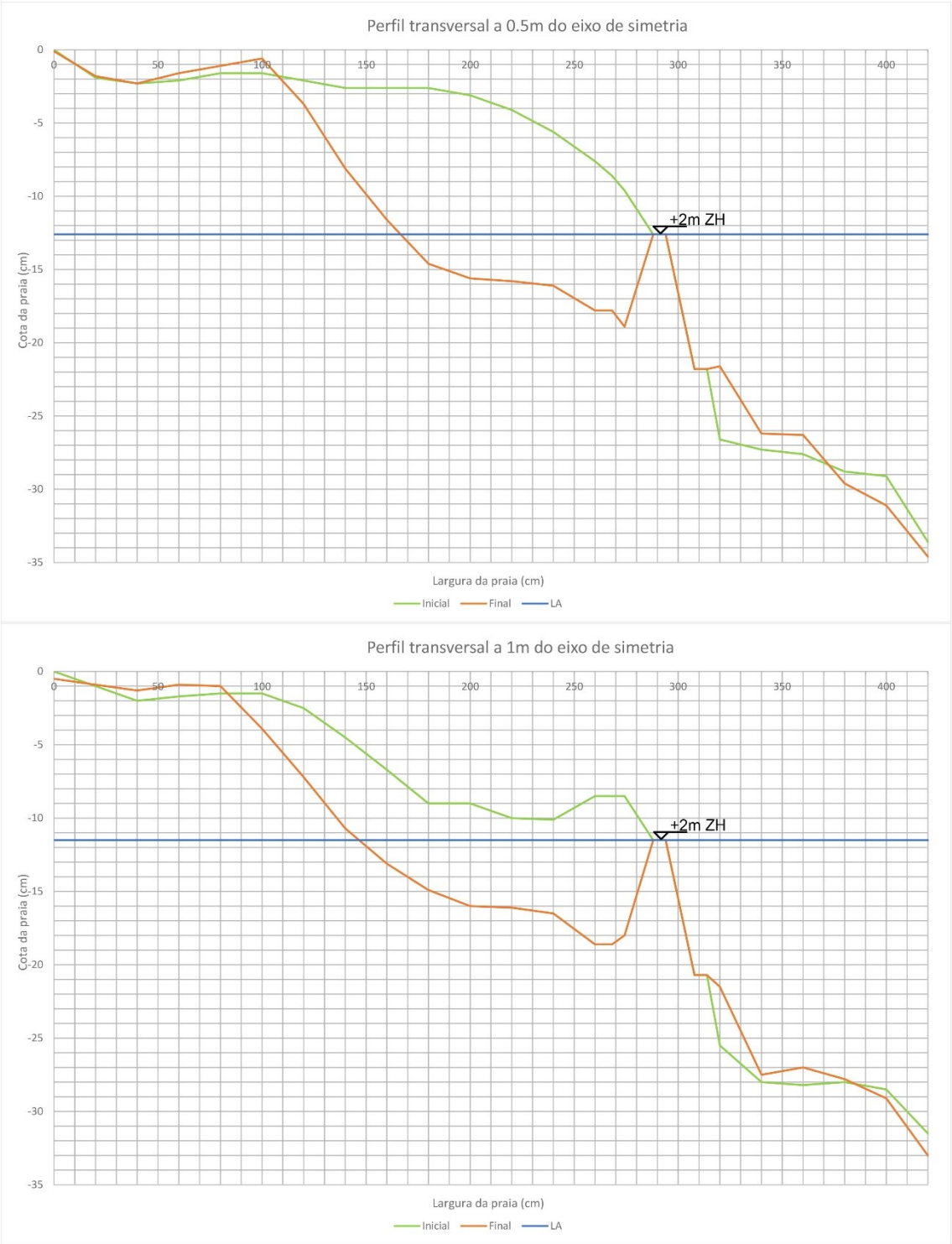


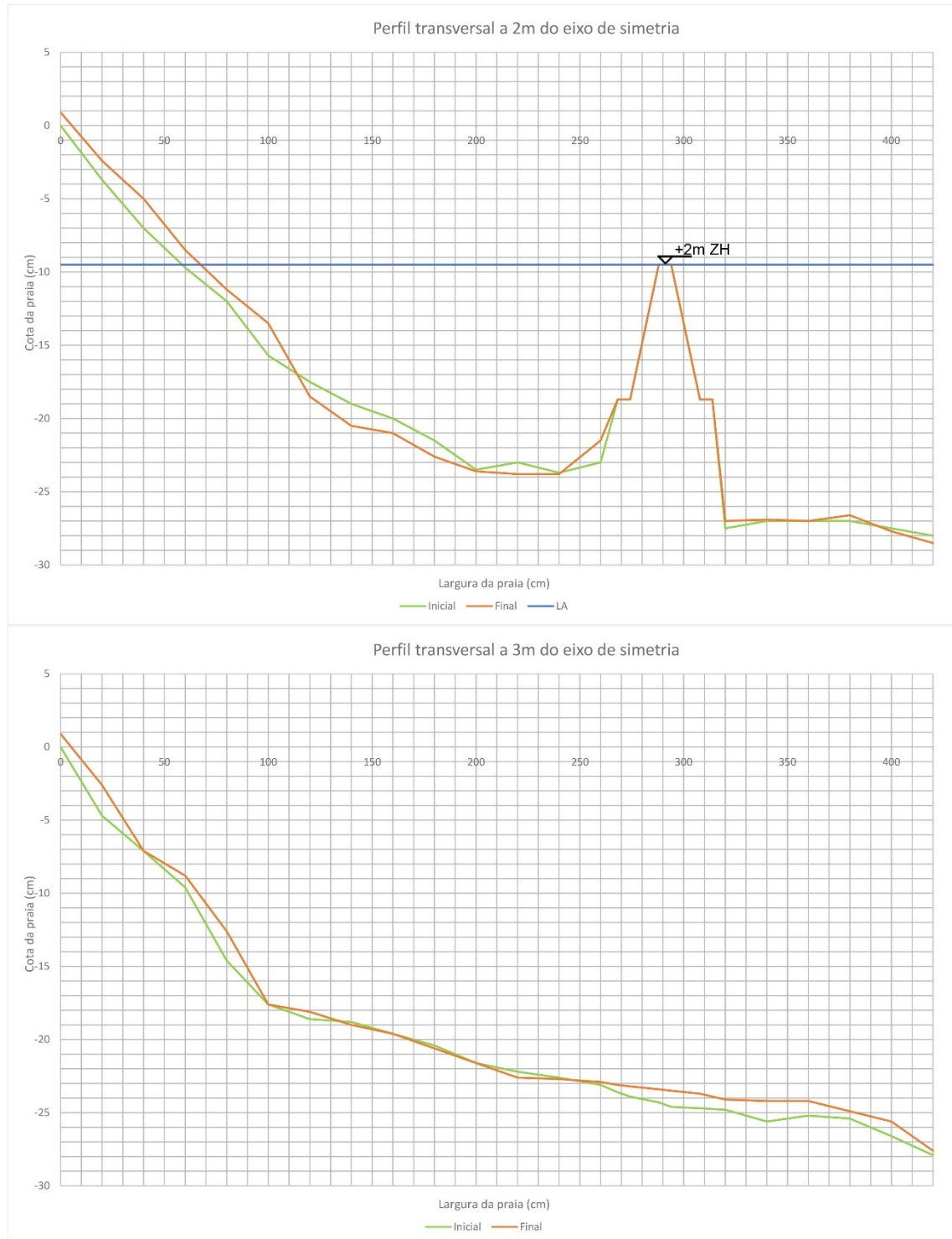
Fotografias com maior detalhe





Perfis Transversais





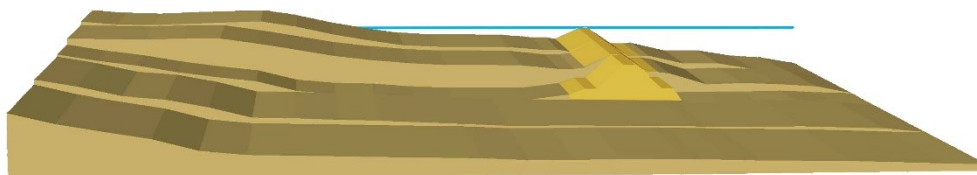


Modelo 3D

Perfis iniciais



Perfis finais



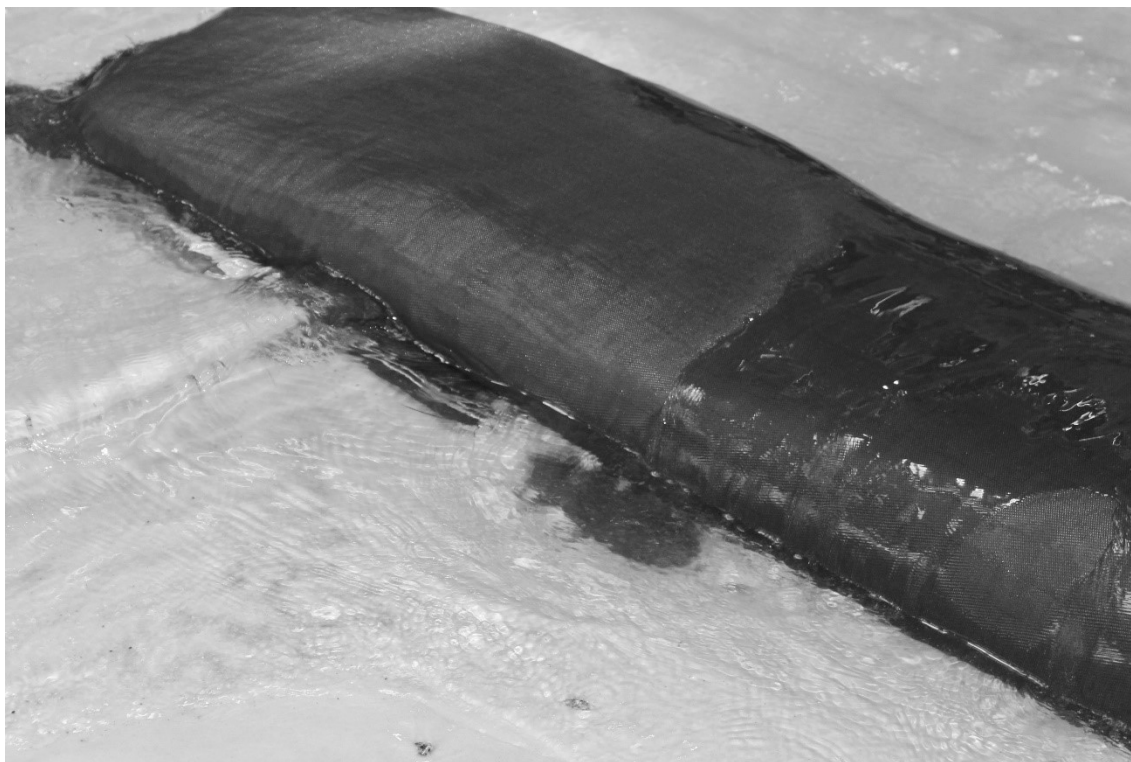
Ensaio	Quebramar destacado emerso em geossintético com alimentação artificial de um tómbolo							Nº de ensaio	9
Altura de onda pretendida (cm)	8.00	Altura de onda medida (cm)	6.87	Período de onda pretendido (s)	1.97	Período de onda registado (s)	1.90	Fator de ganho	1.21
								Duração (h)	1
Volume de areia utilizado									
Como o tómbolo do ensaio anterior foi destruído, e os seus sedimentos, possivelmente, foram espalhados pela praia, optou-se por colocar mais areia para reconstruir o tómbolo, e foram necessários cerca de 0.55m ³ .									
Observações									
<p>Antes do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> Neste ensaio espera-se que o resultado seja semelhante ao do ensaio nº 6, apesar da cota do coroamento ser superior e o quebramar não ser tão permeável, o facto de ser tão liso não lhe permite dissipar tanta energia como um quebramar de taludes; Largura do tómbolo na posição 0 = 1.73m; Largura do tómbolo na posição -1 = 1.12m; Largura do tómbolo na posição -2 = 1.08m; <p>Durante o ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> A variação mais significativa foi durante os primeiros 20min de ensaio em que se formou uma fossa de erosão junto ao quebramar; Após esses 20min, as variações observáveis deram-se na plataforma, que recuou e elevou a cota da mesma; Devido à baixa permeabilidade do quebramar a reflexão das ondas era visível a barlar da estrutura; Com a rebentação das ondas sobre o quebramar, para as ondas maiores, alguma água era atirada para fora do tanque. Comparando com o ensaio nº7, tal não aconteceu porque as ondas eram direccionadas muro defletor presente na superestrutura. <p>Final do ensaio:</p> <ul style="list-style-type: none"> O comportamento do tómbolo foi o esperado, houve alguma erosão junto ao quebramar devido aos galgamentos onde se formou uma fossa de erosão junto ao quebramar, e houve um ajuste da morfologia do tómbolo. Apesar destas alterações, o tómbolo manteve-se estável; Metade do tubo não ficou completamente cheio, visto que o enchimento foi feito manualmente, e então houve mais galgamentos nessa zona onde se formou um buraco provocado pelos galgamentos constantes nesse local; A barlar do quebramar formou-se uma barra; Largura do tómbolo na posição 0 = 1.59m; Largura do tómbolo na posição -1 = 1.17m; 									

Sequência fotográfica do ensaio visto de cima (GoPro™)

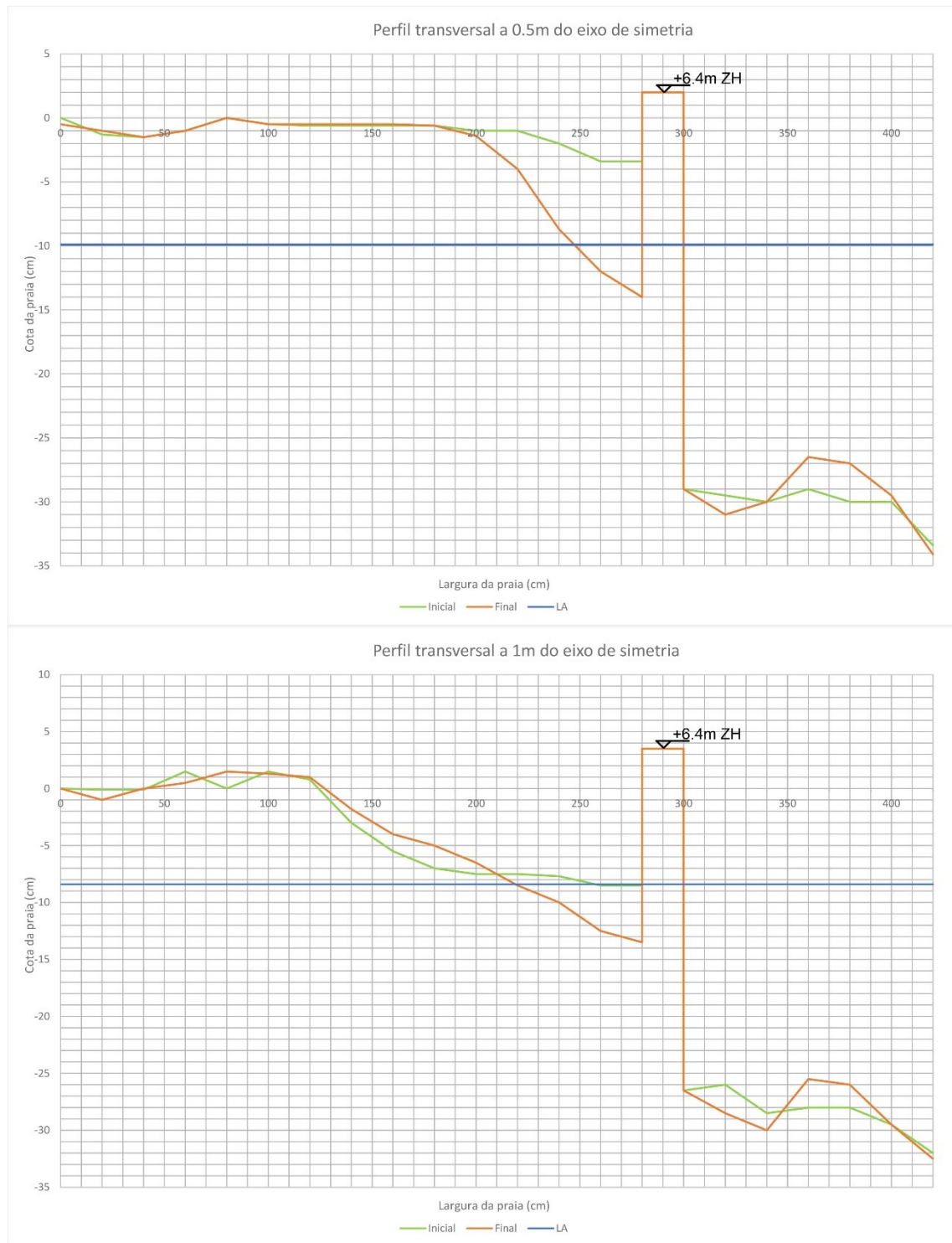


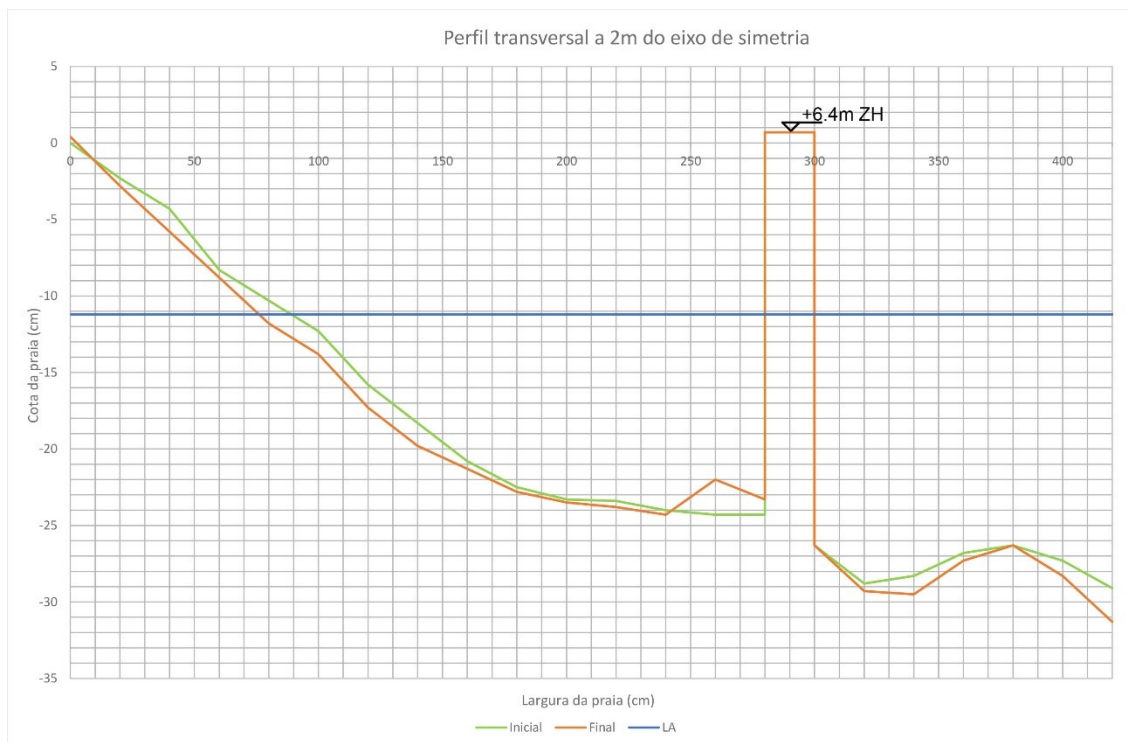
Fotografias com maior detalhe





Perfis Transversais

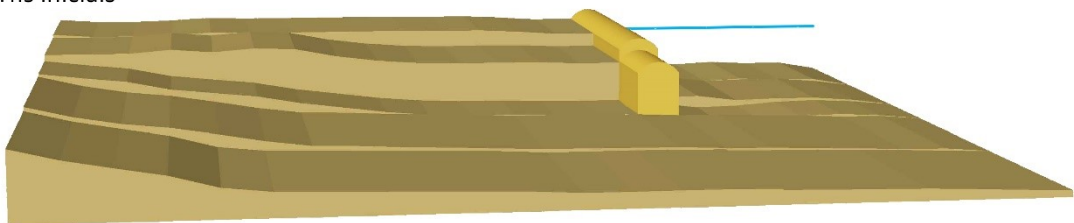






Modelo 3D

Perfis iniciais



Perfis finais

